



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY
A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV RADIOELEKTRONIKY

DEPARTMENT OF RADIO ELECTRONICS

**BEHAVIORÁLNÍ MODELÝ AKTIVNÍCH PRVKŮ
S NEZÁVISLÝM VÍCEPARAMETROVÝM
ELEKTRONICKÝM ŘÍZENÍM**

BEHAVIORAL MODELS OF ACTIVE ELEMENTS WITH POSSIBILITY OF
INDEPENDENT MULTI-PARAMETER CONTROL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jakub Novotný

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Roman Šotner, Ph.D.

BRNO 2016



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektronika a sdělovací technika**

Ústav radioelektroniky

Student: Bc. Jakub Novotný

ID: 125567

Ročník: 2

Akademický rok: 2015/16

NÁZEV TÉMATU:

Behaviorální modely aktivních prvků s nezávislým víceparametrovým elektronickým řízením

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujete různé typy zatím hypotetických prvků a vyberte několik vhodných koncepcí pro záměry elektronického řízení více parametrů (strmost, zisk proudu/napětí, vstupní odpor, ...) nezávisle na sobě. Navrhněte, jak modelovat tyto hypotetické prvky (min. čtyři typy) komerčně dostupnou součástkovou základnou. Symbolický ideální popis, princip a rozsahy řídicích závislostí parametrů ověřte základními simulacemi.

Připravte experimentální prototypy a chování ověřte měřením. Výsledky porovnejte se simulacemi a předpoklady. Navrhněte jednoduché aplikace reálných modelů a vyzkoušejte je. Pro Vámi vybraný typ behav. modelu připravte tranzistorovou strukturu (CMOS/BJT) vhodnou pro integraci a ověřte její parametry simulacemi.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

[1] BIOLEK, D., SENANI, R., BIOLKOVÁ, V., KOLKA, Z. Active Elements for Analog Signal Processing: Classification, Review, and New Proposals. Radioengineering. 2008, vol. 17, no. 4, p. 15-32.

Termín zadání: 8.2.2016

Termín odevzdání: 19.5.2016

Vedoucí práce: Ing. Roman Šotner, Ph.D.

Konzultant diplomové práce:

doc. Ing. Tomáš Kratochvíl, Ph.D., předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

ABSTRAKT

Tato práce je zaměřená na behaviorální modelování aktivních prvků s nezávislým víceparametrovým elektronickým řízením za použití komerčně dostupné součástkové základny. Práce v první části pojednává o modelování aktivních prvků CVDIBA, CVDOBA, CVCC a OC. Funkčnost modelů je ověřena simulacemi v prostředí OrCAD PSpice. Využívány jsou diamantový tranzistor OPA860, nastavitelný zesilovač LMH6505, diferenční zesilovač AD830, diferenciální budič AD8138, proudový konvektor EL2082 a proudová čtyřkvadrantová násobička EL4083. Čtyři aktivní prvky jsou v další části realizovány na DPS a proměřeny. Jsou také simulovány a prakticky ověřovány některé jejich aplikace, jako dolní propust, horní propust, fázovací článek a rekonfigurovatelný filtr.

KLÍČOVÁ SLOVA

CVDIBA, CVDOBA, CVCC, OC, operační zesilovač, říditelný napěťový zesilovač, elektronické řízení, behaviorální model, proudový konvektor, diferenční zesilovač, diamantový tranzistor, dolní propust, horní propust, fázovací článek, rekonfigurovatelný filtr

ABSTRACT

This thesis is focused on behavioral modelling of active elements with independent multi-parameter electronic control using commercially available components. In a first part of the thesis, CVDIBA, CVDOBA, CVCC and OC elements are discussed. The functionality is verified by simulations using OrCAD PSpice. Used components are diamond transistor OPA860, variable gain amplifier LMH6505, differencing amplifier AD830, low distortion differential driver AD8138, current conveyor EL2082 and current mode four quadrant multiplier EL4083. Four active elements are further built on PCB and measured. Some applications like low pass filter, high pass filter, all pass filter and reconfigurable filter.

KEYWORDS

CVDIBA, CVDOBA, CVCC, OC, operational amplifier, voltage controlled amplifier, electronic control, behavioral model, current conveyor, difference amplifier, diamond transistor, filter, all pass, low pass, high pass, reconfigurable

NOVOTNÝ, J. *Behaviorální modely aktivních prvků s nezávislým víceparametrovým elektronickým řízením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav radioelektroniky, 2016. 88 s., Diplomová práce. Vedoucí práce: Ing. Roman Šotner, Ph. D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji semestrální práci na téma *Behaviorální modely aktivních prvků s nezávislým víceparametrovým elektronickým řízením* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího semestrální práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené semestrální práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této semestrální práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne

.....

(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Romanu Šotnerovi, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé semestrální práce.

Experimentální část této diplomové práce byla realizována na výzkumné infrastruktuře vybudované v rámci projektu CZ.1.05/2.1.00/03.0072

Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů (SIX)

operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace.

1 OBSAH

1	Obsah	vii
2	Seznam obrázků	x
3	Úvod	13
4	Aktivní prvek CVDIBA	14
4.1	Schéma.....	14
4.2	Třípólový lineární model	16
4.3	Měření prvku CVDIBA	18
4.4	Aplikace prvku CVDIBA	23
4.4.1	Syntetický kapacitor s prvkem CVDIBA	23
4.4.2	Alternativní syntetický kapacitor s prvkem CVDIBA.....	24
5	Aktivní prvek CVDOBA	26
5.1	Schéma.....	26
5.2	Alternativní schéma prvku CVDOBA	28
5.3	Třípólový lineární model	31
5.4	Měření prvku CVDOBA.....	32
6	Aktivní prvek CVCC	34
6.1	Schéma.....	34
6.2	Alternativní schéma prvku CVCC	37
6.3	Třípólový lineární model	40
6.4	Měření prvku CVCC.....	42
6.5	Aplikace prvku CVCC.....	44
6.5.1	Rekonfigurovatelný filtr s prvkem CVCC.....	44
6.5.2	Horní propust s prvkem CVCC	46
6.5.3	Dolní propust s prvkem CVCC.....	47
6.5.4	Alternativní dolní propust s prvkem CVCC	48
	Aktivní prvek OC	49
6.6	Schéma.....	49
6.7	Alternativní schéma prvku OC	51

6.8	Třípólový lineární model	53
6.9	Měření prvku OC	55
6.10	Aplikace prvku OC	57
6.10.1	Derivátor s prvkem OC	57
6.10.2	Horní propust s prvkem OC	58
7	Závěr	59
8	Literatura	60
9	Seznam symbolů, veličin a zkratk	61
10	Návrh zařízení	62
A.1	Obvodové zapojení prvku CVDIBA.....	62
A.2	Deska plošného spoje prvku CVDIBA – top (strana součástek)	63
A.3	Deska plošného spoje prvku CVDIBA – bottom (strana spojů).....	63
A.4	Osazovací plánec prvku CVDIBA – top (strana součástek).....	64
A.5	Osazovací plánec prvku CVDIBA – bottom (strana spojů)	64
A.6	Seznam součástek prvku CVDIBA.....	65
A.7	Osazená DPS prvku CVDIBA – top (strana součástek)	66
A.8	Osazená DPS prvku CVDIBA – bottom (strana spojů).....	67
A.9	Redukce z pouzdra SOIC8 na DIP8	67
A.10	Obvodové zapojení prvku CVDOBA	68
A.11	Deska plošného spoje prvku CVDOBA – top (strana součástek)	69
A.12	Deska plošného spoje prvku CVDOBA – bottom (strana spojů)	69
A.13	Osazovací plánec prvku CVDOBA – top (strana součástek)	70
A.14	Osazovací plánec prvku CVDOBA – bottom (strana spojů).....	70
A.15	Seznam součástek prvku CVDOBA	71
A.16	Osazená DPS prvku CVDOBA – top (strana součástek)	73
A.17	Osazená DPS prvku CVDOBA – bottom (strana spojů)	74
A.18	Obvodové zapojení prvku CVCC	75
A.19	Deska plošného spoje prvku CVCC – top (strana součástek)	76
A.20	Deska plošného spoje prvku CVCC – bottom (strana spojů)	76
A.21	Osazovací plánec prvku CVCC – top (strana součástek)	77
A.22	Osazovací plánec prvku CVCC – bottom (strana spojů).....	77
A.23	Seznam součástek prvku CVCC	78
A.24	Osazená DPS prvku CVCC – top (strana součástek)	81

A.25	Osazená DPS prvku CVCC – bottom (strana spojů)	81
A.26	Obvodové zapojení prvku OC	82
A.27	Deska plošného spoje prvku OC – top (strana součástek).....	83
A.28	Deska plošného spoje prvku OC – bottom (strana spojů)	83
A.29	Osazovací plánec prvku OC – top (strana součástek)	84
A.30	Osazovací plánec prvku OC– bottom (strana spojů)	84
A.31	Seznam součástek prvku OC	85
A.32	Osazená DPS prvku OC – top (strana součástek).....	88
A.33	Osazená DPS prvku OC – bottom (strana spojů)	88

2 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Symbol aktivního prvku CVDIBA.....	14
Obrázek 2 Schéma behaviorálního modelu prvku CVDIBA.....	14
Obrázek 3 Kmitočtová odezva CVDIBA pro rozmítané v_i	15
Obrázek 4 Odezva CVDIBA v časové oblasti	15
Obrázek 5 Stejnoseměrná odezva CVDIBA při $v_2=0V$	15
Obrázek 6 Jednoduchý třípólový lineární model prvku CVDIBA	16
Obrázek 7 Porovnání behaviorálního modelu CVDIBA s třípólovým lineárním modelem.....	17
Obrázek 8 Měření napět'ového přenosu CVDIBA pro $V_{set_a}=0,648V$ a $V_{set_a}=0,805V$	18
Obrázek 9 Měření napět'ového přenosu CVDIBA pro $V_{set_a}=0,894V$ a $V_{set_a}=0,995V$	18
Obrázek 10 Měření napět'ového přenosu CVDIBA pro $V_{set_a}=1,500V$ a $V_{set_a}=2,024V$	18
Obrázek 11 Měření napět'ového přenosu pro $V_{set_a}=2,023V$	19
Obrázek 12 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem vI pro $V_{set_a}=0,930V$. Změřená šířka pásma je cca 32MHz.	19
Obrázek 13 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem vI pro $V_{set_a}=1,5V$. Změřená šířka pásma je cca 30MHz.	20
Obrázek 14 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem vI ...	20
Obrázek 15 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem o dle obr. 8	21
Obrázek 16 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem w	21
Obrázek 17 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem v a výstupem w ...	21
Obrázek 18 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem v a výstupem w ...	22
Obrázek 19 Schéma behaviorálního modelu prvku CVDIBA s doplněným proudovým výstupem o	22
Obrázek 20 Měření kmitočtového syntetického kapacitoru s CVDIBA	23
Obrázek 21 Měření fáze kmitočtového přenosu syntetického kapacitoru c CVDIBA ...	23
Obrázek 22 Schéma syntetického kapacitoru s aktivním prvkem CVDIBA	24
Obrázek 23 Schéma alternativního syntetického kapacitoru s aktivním prvkem CVDIBA	24
Obrázek 24 Kmitočtový přenos alternativního syntetického kapacitoru s CVDIBA	25

Obrázek 25 Fáze kmitočtového přenosu alternativního syntetického kapacitoru s CVDIBA	25
Obrázek 26 Symbol aktivního prvku CVDOBA	26
Obrázek 27 Schéma behaviorálního modelu prvku CVDOBA	26
Obrázek 28 Kmitočtový přenos CVDOBA pro různé V_{set_a}	27
Obrázek 29 Přenos CVDOBA v časové oblasti.....	27
Obrázek 30 Stejnoseměrný přenos CVDOBA pro různé V_{set_a}	27
Obrázek 31 Modul a fáze kmitočtového přenosu CVDOBA	28
Obrázek 32 Alternativní schéma behaviorálního modelu prvku CVDOBA	28
Obrázek 33 Modul a fáze kmitočtového přenosu alternativní verze CVDOBA	29
Obrázek 34 Schéma behaviorálního modelu prvku CVDOBA s přidávaným proudovým výstupem „o“	29
Obrázek 35 Kmitočtový přenos vývodu "o" CVDOBA pro zátěž $1\ \Omega$	30
Obrázek 36 Přenos vývodu "o" v časové oblasti	30
Obrázek 37 Jednoduchý třípólový lineární model prvku CVDOBA.....	31
Obrázek 38 Porovnání behaviorálního modelu CVDOBA s třípólovým lineárním modelem.....	31
Obrázek 39 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem v a výstupem i ...	32
Obrázek 40 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem i a výstupem $-w$.	32
Obrázek 41 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem i a výstupem $+w$.	33
Obrázek 42 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem i a výstupem o ...	33
Obrázek 43 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem v a výstupem w .	33
Obrázek 44 Symbol obvodu CVCC.....	34
Obrázek 45 Schéma behaviorálního modelu prvku CVCC	34
Obrázek 46 Kmitočtový přenos CVCC	35
Obrázek 47 Průběh transkonduktance CVCC	35
Obrázek 48 Přenos CVCC v časové oblasti.....	36
Obrázek 49 Stejnoseměrný přenos CVCC	36
Obrázek 50 Alternativní schéma behaviorálního modelu prvku CVCC	37
Obrázek 51 Kmitočtový přenos alternativní verze CVCC	37
Obrázek 52 Průběh transkonduktance alternativní verze CVCC.....	38
Obrázek 53 Přenos alternativní verze CVCC v časové oblasti.....	38
Obrázek 54 Stejnoseměrný přenos alternativní verze CVCC	39
Obrázek 55 Jednoduchý třípólový lineární model prvku CVCC.....	40
Obrázek 56 Porovnání behaviorálního modelu CVCC s třípólovým lineárním modelem	

.....	41
Obrázek 57 Měření kmitočtového přenosu CVCC mezi vstupem i a výstupem $+w$	42
Obrázek 58 Měření kmitočtového přenosu CVCC mezi vstupem i a výstupem x	42
Obrázek 59 Měření kmitočtového přenosu CVCC mezi vstupem v a výstupem $+w$	43
Obrázek 60 Schéma rekonfigurovatelného filtru s aktivním prvkem CVCC	44
Obrázek 61 Měření fázovacího članku s CVCC	44
Obrázek 62 Měření fázovacího članku s CVCC	45
Obrázek 63 Měření horní propusti s CVCC	45
Obrázek 64 Měření horní propusti s CVCC	45
Obrázek 65 Schéma horní propusti s aktivním prvkem CVCC	46
Obrázek 66 Kmitočtový přenos horní propusti s CVCC	46
Obrázek 67 Schéma dolní propusti s aktivním prvkem CVCC	47
Obrázek 68 Kmitočtový přenos dolní propusti s CVCC	47
Obrázek 69 Schéma horní propusti s aktivním prvkem CVCC	48
Obrázek 70 Kmitočtový přenos alternativní horní propusti s CVCC	48
Obrázek 71 Symbol aktivního prvku OC	49
Obrázek 72 Schéma behaviorálního modelu prvku OC	49
Obrázek 73 Kmitočtový přenos OC	50
Obrázek 74 Přenos OC v časové oblasti	50
Obrázek 75 Stejnoseměrný přenos OC	50
Obrázek 76 Alternativní schéma behaviorálního prvku OC	51
Obrázek 77 Kmitočtový přenos alternativní verze OC	51
Obrázek 78 Přenos alternativní verze OC v časové oblasti	52
Obrázek 79 Stejnoseměrný přenos OC	52
Obrázek 80 Jednoduchý třípólový lineární model prvku OC	53
Obrázek 81 Porovnání behaviorálního modelu OC s třípólovým lineárním modelem ..	54
Obrázek 82 Měření kmitočtového přenosu OC mezi vstupem in a výstupem z	55
Obrázek 83 Měření kmitočtového přenosu OC mezi vstupem v a výstupem z	55
Obrázek 84 Měření kmitočtového přenosu OC mezi vstupem x a výstupem z	56
Obrázek 85 Schéma derivátoru s aktivním prvkem OC	57
Obrázek 86 Měření kmitočtového přenosu derivátoru s OC	57
Obrázek 87 Schéma horní propusti s aktivním prvkem OC	58
Obrázek 88 Měření kmitočtového přenosu horní propusti s OC	58

3 ÚVOD

Následující práce se zabývá rozbořem aktivních prvků pro zpracovávání analogových signálů, které na rozdíl od konvenčních operačních zesilovačů umožňují nejen napěťový, ale také proudový a smíšený režim.

Požadavek na elektronické obvody s velmi malým napájecím napětím a příkonem patří k důležitým a dlouhodobým trendům, které ovlivňují vývoj mikroelektroniky [3]. V mnoha aplikacích se objevují další požadavky, především vyšší rychlost a přesnost zpracování signálů. Současné splnění výše zmíněných požadavků je problematické, takže by v praxi mělo být použito kompromisní řešení.

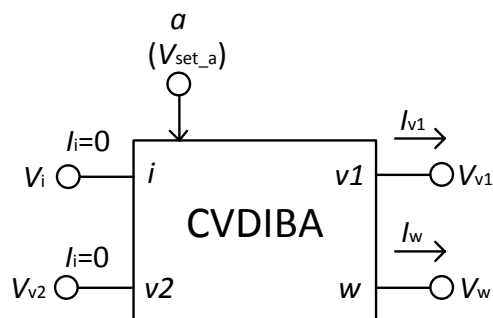
V posledních dvaceti letech vývoj moderních aplikací pro zpracování analogových signálů sleduje trendy tzv. proudového režimu [4], kdy signály, reprezentující zpracovávané informace, jsou ve formě elektrických proudů. Na rozdíl od konvenčního napěťového režimu, který využívá elektrická napětí, obvody v proudovém režimu mohou za určitých podmínek vykazovat – kromě jiných vlastností – větší šířku pásma a signálovou linearitu. Jelikož jsou navrženy pro menší kolísání napětí, může být též použito menší napájecí napětí. Spolu s vývojem aplikací v proudovém režimu jsou rovněž zkoumány obvody ve smíšeném režimu, protože jsou často potřeba jako rozhraní mezi subbloky, které pracují v rozdílných režimech. Provoz v proudovém režimu jakožto i návrat ke konvenčnímu napěťovému režimu má též jiné ospravedlnění: Zjišťuje se, že některé obecně přijímané názory o výhodách proudového režimu pravděpodobně nemají reálný základ [5].

Technologie proudového režimu již poskytla mnoho důležitých obvodů pro generování nebo zpracování analogových signálů, takže se tyto hojně objevují v literatuře posledních let. Obvodoví návrháři často využívají potenciál obvodů v proudovém režimu pro vývoj elegantních a účinných řešení pro různé účely díky rozvoji technologie integrovaných obvodů v posledních letech. Proto se o proudovém přístupu ke zpracování signálů obecně soudí, že poskytují jednu nebo více z následujících výhod: Vyšší provozní kmitočtový rozsah, menší nároky na spotřebu, vyšší rychlost přeběhu, zdokonalená linearita, v určitých případech také snadnější realizace některých signálových operací a tím zjednodušení obvodového řešení.

V současnosti existují dva směry vývoje prvků pro zpracování analogových signálů [1]. **První směr** zahrnuje modifikace základních prvků, jako jsou zesilovače VFA (Voltage Feedback Amplifier), CFA (Current Feedback Amplifier), OTA (Operational Transconductance Amplifier) a proudové konvejory (CC). Hlavní motivací takových modifikací je zvýšit aplikační potenciál prvku. Současně by tento prvek měl mít jednoduchou vnitřní strukturu pro zachování nízké spotřeby energie a vysokorychlostního provozu. Požadavek na elektronické ovládání parametrů se také promítne do motivace ke změně principu obvodu. **Druhý směr** vývoje aktivních prvků se vyznačuje zavedením zcela nových prvků, které rozšiřují původní sadu VFA-CFA-OTA-CC. Mezi ně patří prvky CVDoba (current voltage differencing output buffered amplifier), CVDIBA (current voltage differential input buffered amplifier), CVCC (current voltage current conveyor) a OC (operational conveyor), kterými se bude zabývat tato práce.

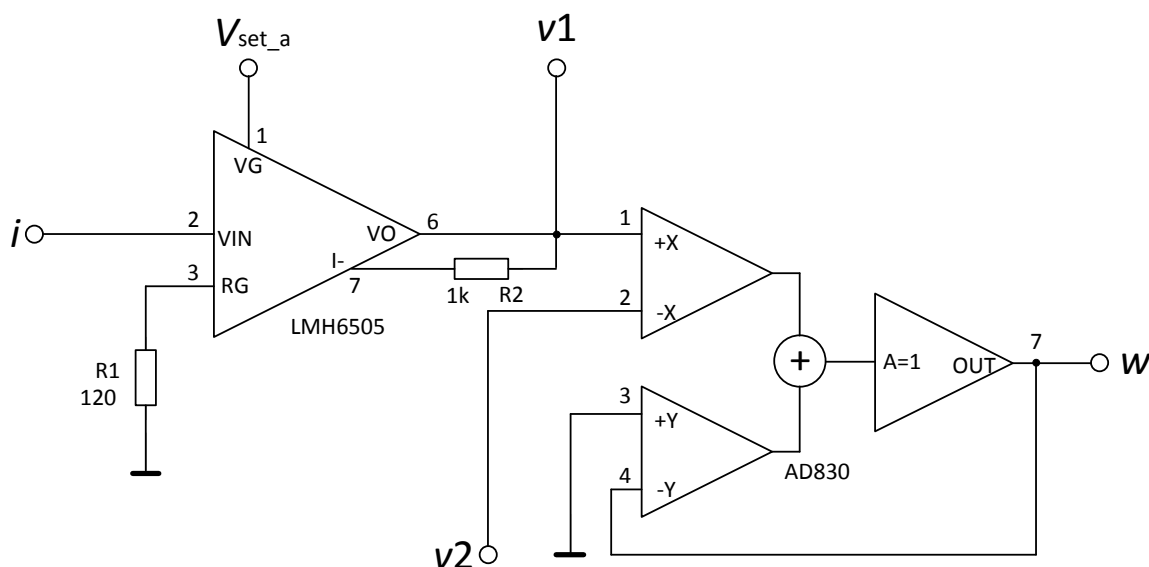
4 AKTIVNÍ PRVEK CVDIBA

Aktivní prvek CVDIBA (current voltage differential input buffered amplifier) [1] obsahuje napěťový vstup i , napěťový vstup $v2$, napěťový výstup $v1$ a napěťový výstup w , přičemž platí $v_{v1} = v_i \cdot a$, $v_w = v_{v1} + v_{v2}$. Je tvořen nastavitelným zesilovačem LMH6505 [11] s udanou šířkou pásma 100 MHz a diferenčním zesilovačem AD830 [16] s udanou šířkou pásma 85 MHz. Napěťový zisk a může být nastavován změnou napětí V_{set_a} od 0,5 do 2V. Obvod LMH6505 je při simulaci napájen symetrickým napětím $\pm 5V$ a AD830 symetrickým napětím $\pm 15V$.



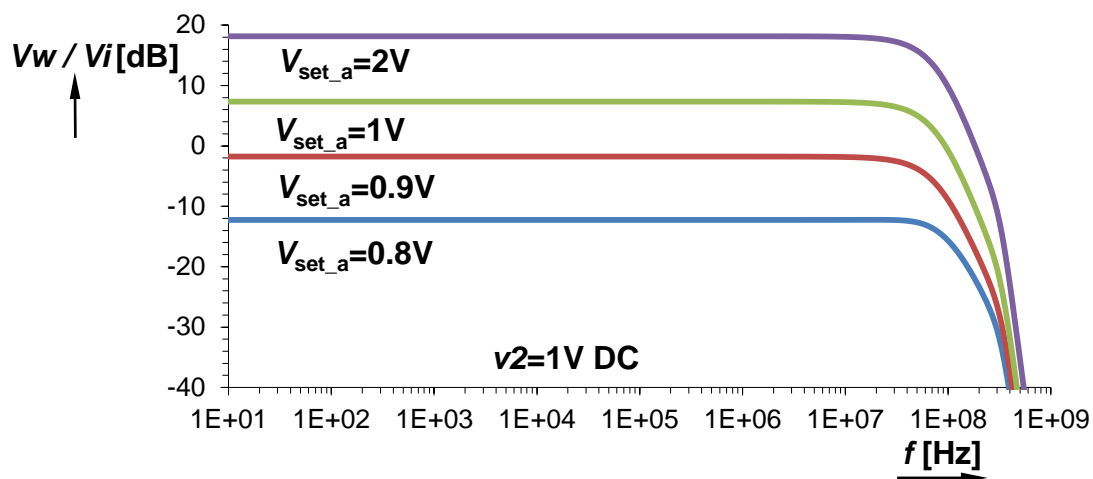
Obrázek 1 Symbol aktivního prvku CVDIBA

4.1 Schéma

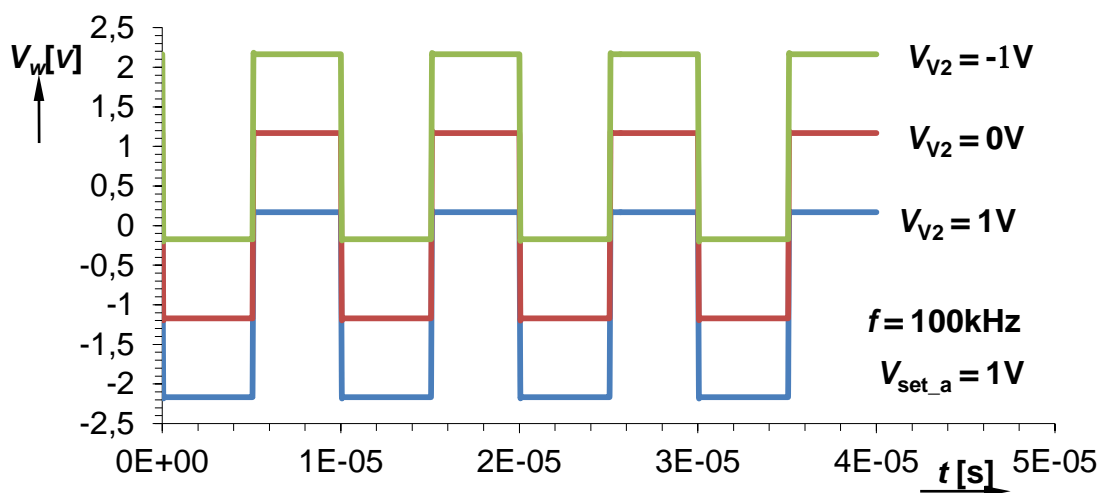


Obrázek 2 Schéma behaviorálního modelu prvku CVDIBA

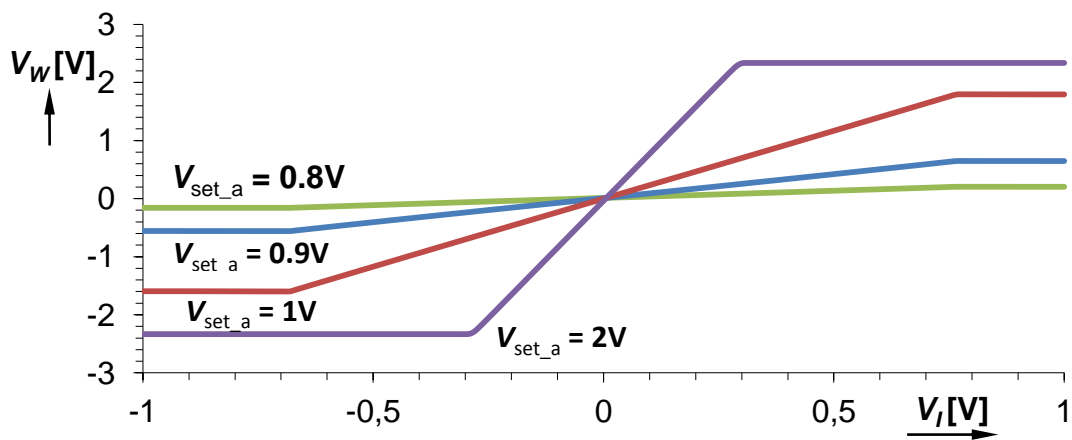
Byla získána odezva obvodu v kmitočtové, časové i stejnosměrné oblasti. Šířka pásma pro $V_{set_a}=1V$ je cca 56MHz pro pokles o 3 dB.



Obrázek 3 Kmitočtová odezva CVDIBA pro rozmítné v_i

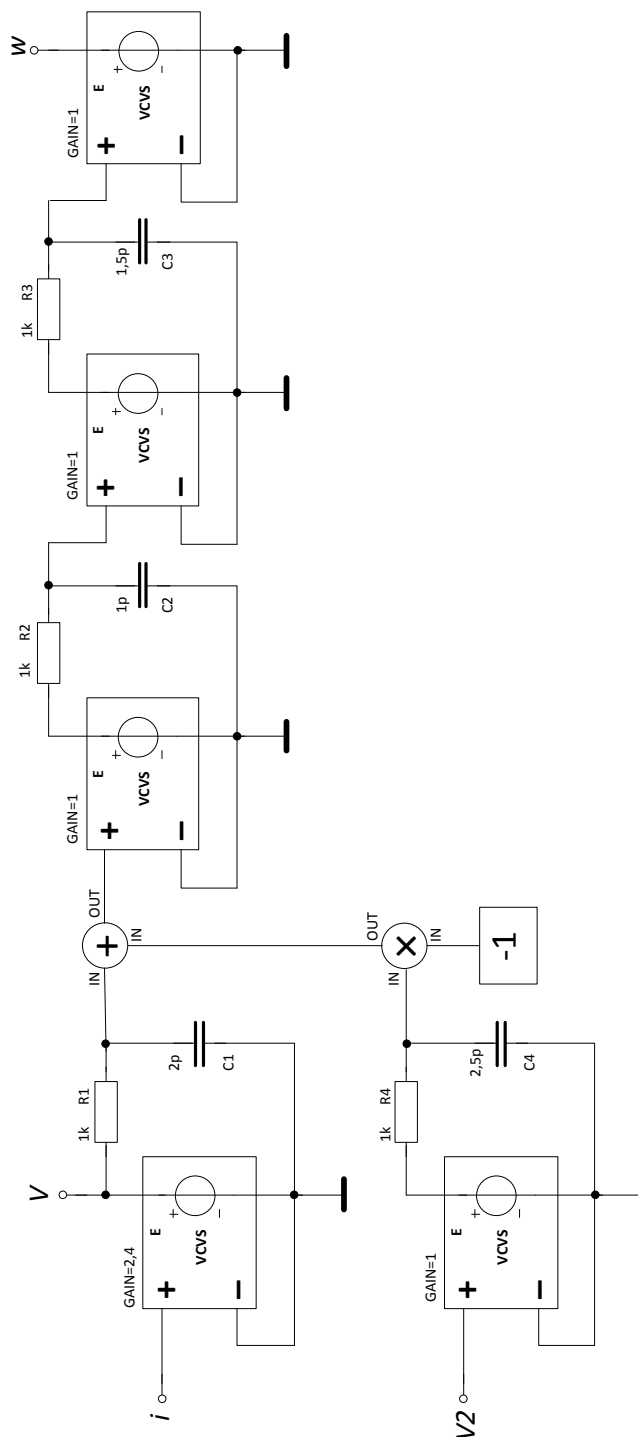


Obrázek 4 Odezva CVDIBA v časové oblasti

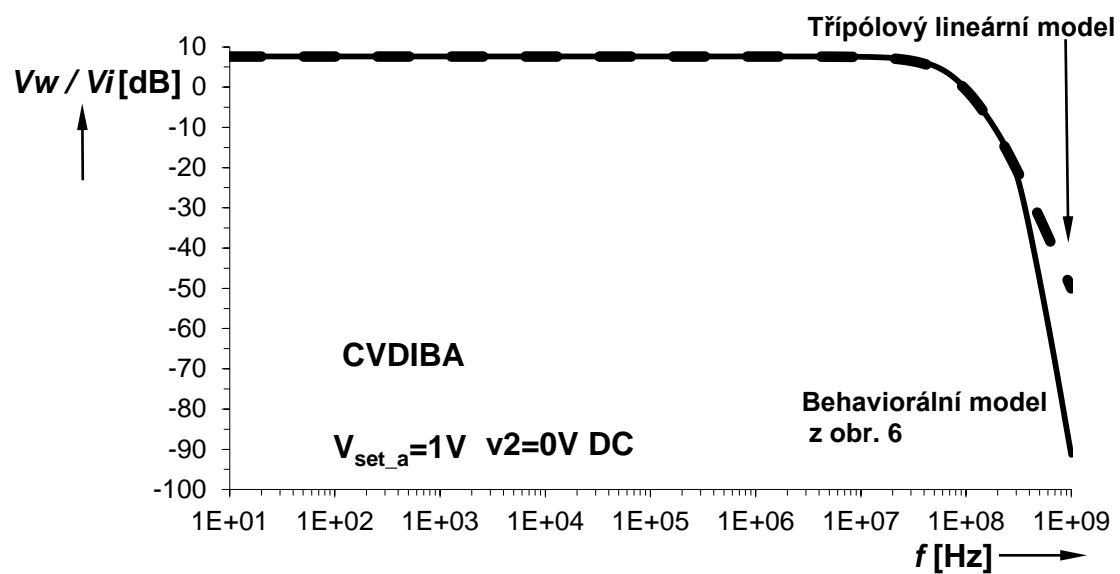


Obrázek 5 Stejnoseměrná odezva CVDIBA při $v_2 = 0\text{V}$

4.2 Třípólový lineární model



Obrázek 6 Jednoduchý třípólový lineární model prvku CVDIBA

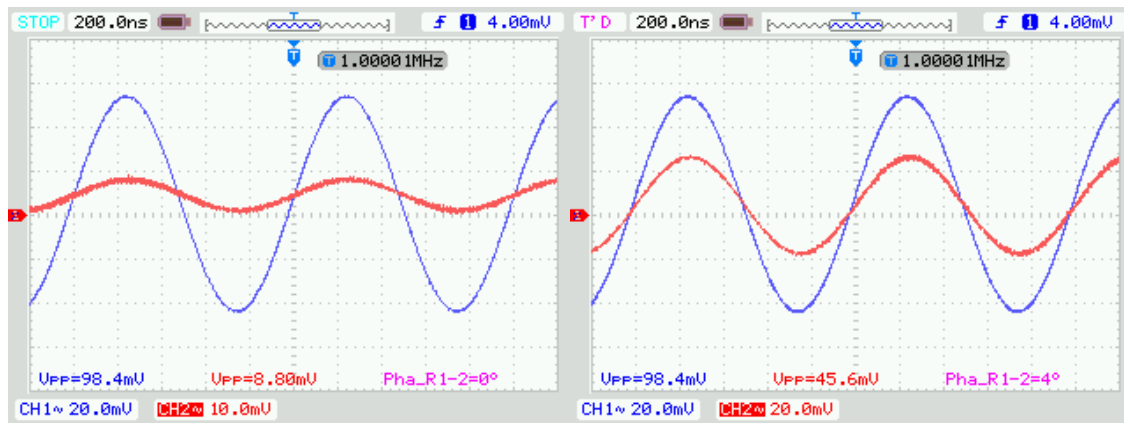


Obrázek 7 Porovnání behaviorálního modelu CVDIBA s třípólovým lineárním modelem

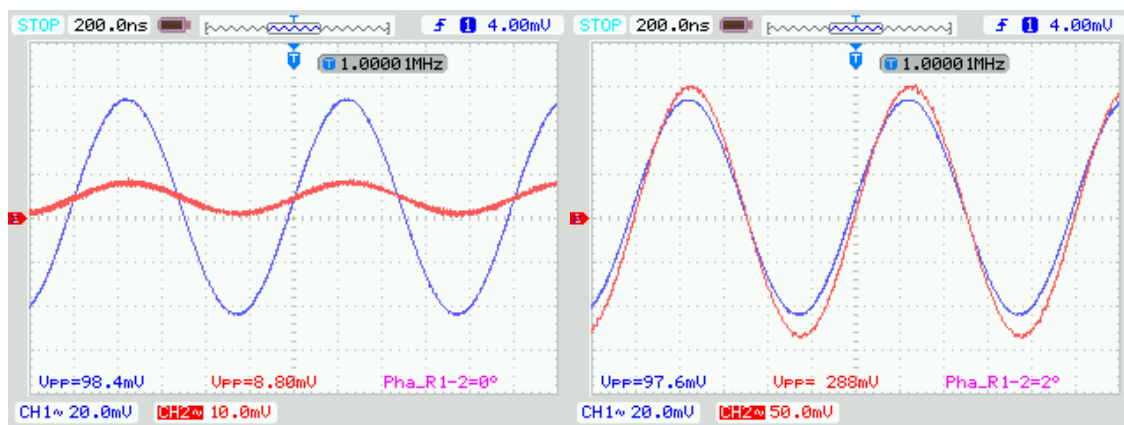
U třípólového lineárního modelu je patrné pomalejší klesání kmitočtové charakteristiky. Byl modelován pomocí řízených zdrojů.

4.3 Měření prvku CVDIBA

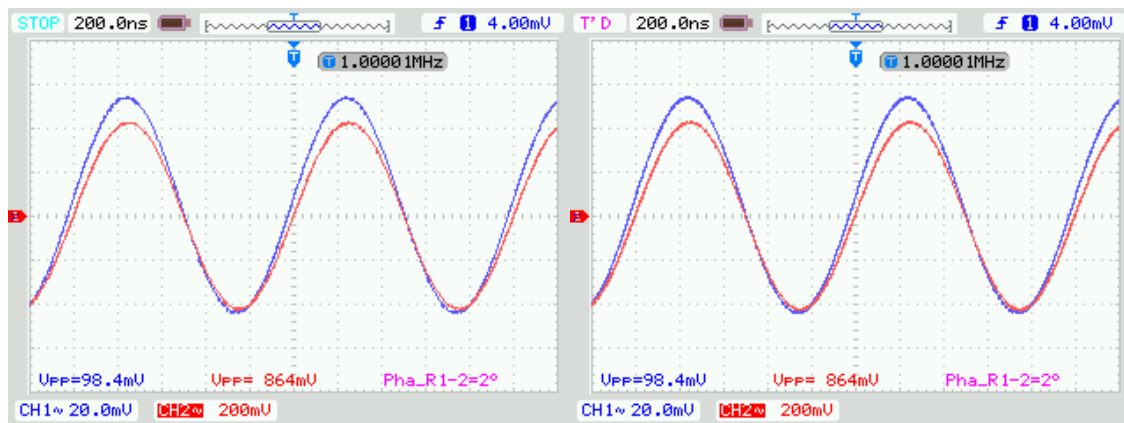
Měření prvku CVDIBA proběhlo v časové a kmitočtové oblasti. Měření v časové oblasti proběhlo pomocí osciloskopu Rigol DS1204B pro různé hodnoty V_{set_a} . Měření bylo prováděno mezi vstupem i a výstupem vI .



Obrázek 8 Měření napětového přenosu CVDIBA pro $V_{set_a}=0,648V$ a $V_{set_a}=0,805V$

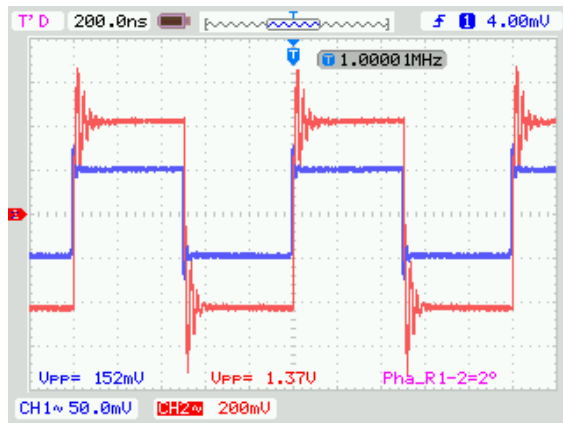


Obrázek 9 Měření napětového přenosu CVDIBA pro $V_{set_a}=0,894V$ a $V_{set_a}=0,995V$



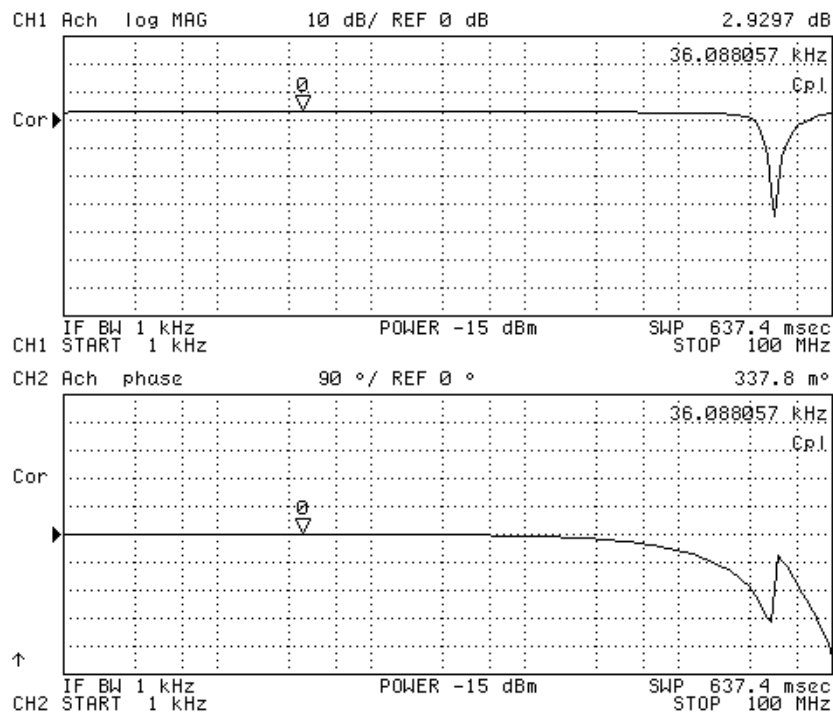
Obrázek 10 Měření napětového přenosu CVDIBA pro $V_{set_a}=1,500V$ a $V_{set_a}=2,024V$

Při buzení obdélníkovým průběhem jsou patrné malé problémy se stabilitou, které se projevují vznikem zákmitů. Měření bylo opět prováděno mezi vstupem i a výstupem v_I .

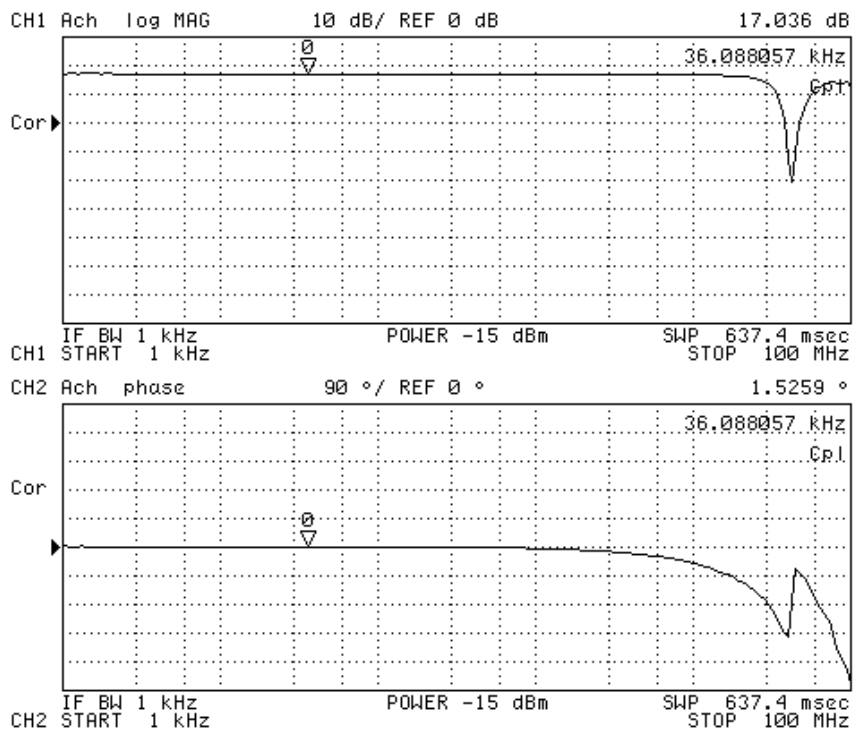


Obrázek 11 Měření napětového přenosu pro $V_{set_a}=2,023V$

Měření v kmitočtové oblasti proběhlo pomocí obvodového analyzátoru Keysight / Agilent 4395A při nastavení source power -15dBm. Na vyšších kmitočtech jsou patrné nežádoucí výkyvy způsobené špatnou kompenzací měřicí soustavy. Výkyvy byly při zpracování naměřených dat dodatečně odstraněny.

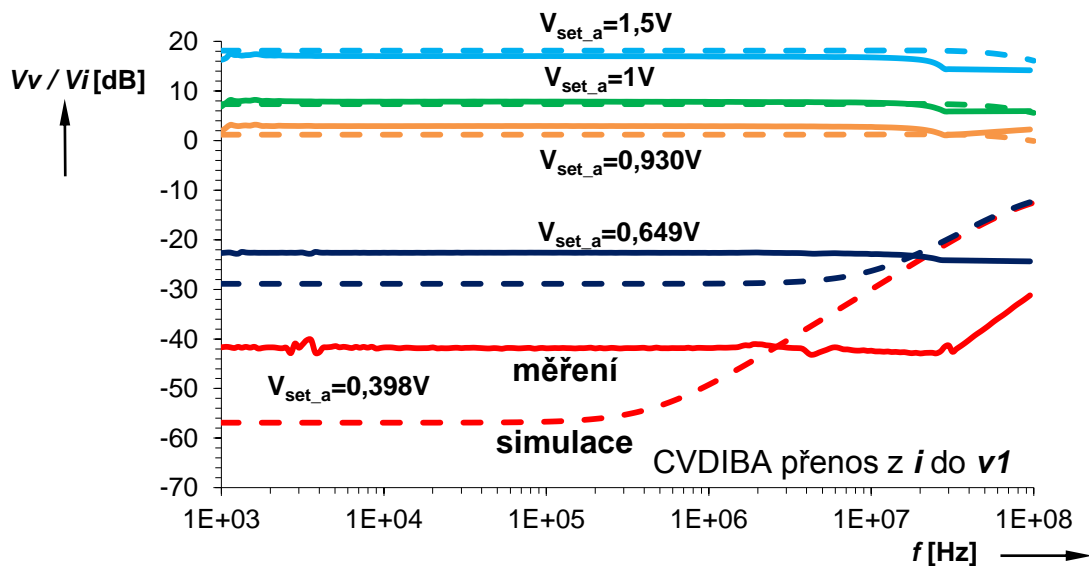


Obrázek 12 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem v_I pro $V_{set_a}=0,930V$. Změřená šířka pásma je cca 32MHz.

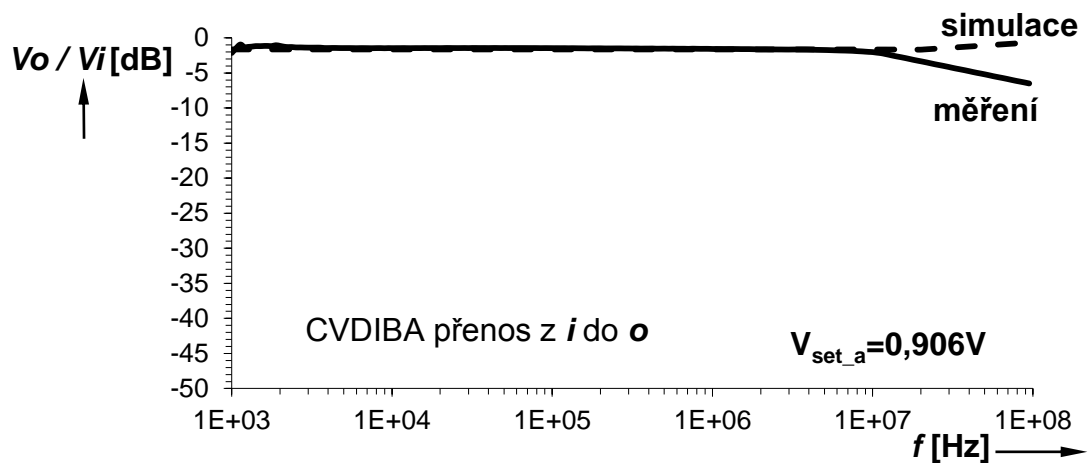


Obrázek 13 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem v_I pro $V_{\text{set}_a}=1,5\text{V}$. Změřená šířka pásma je cca 30MHz.

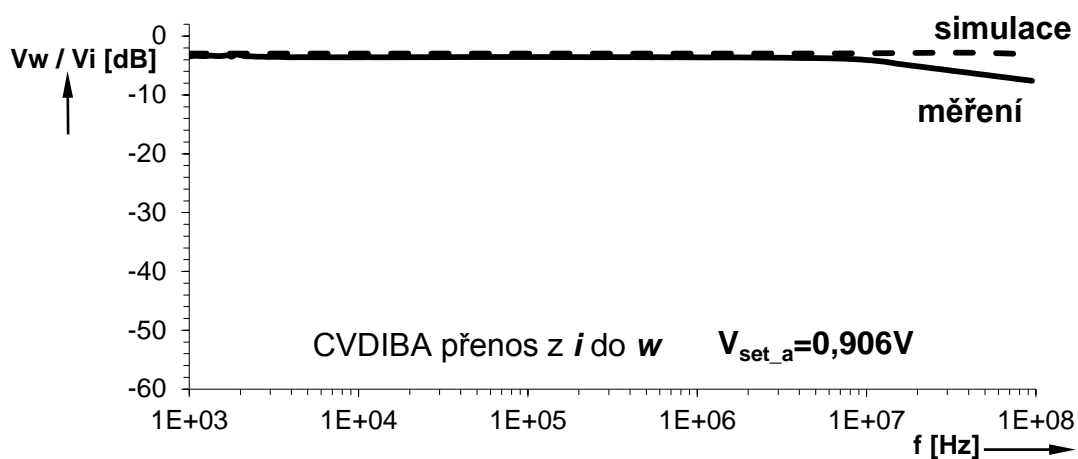
Změřené přenosy mezi různými branami prvku CVDIBA byly porovnány se simulací v programu PSpice. Plná čára ve všech grafech značí naměřený a přerušovaná čára značí simulovaný průběh, není-li řečeno jinak.



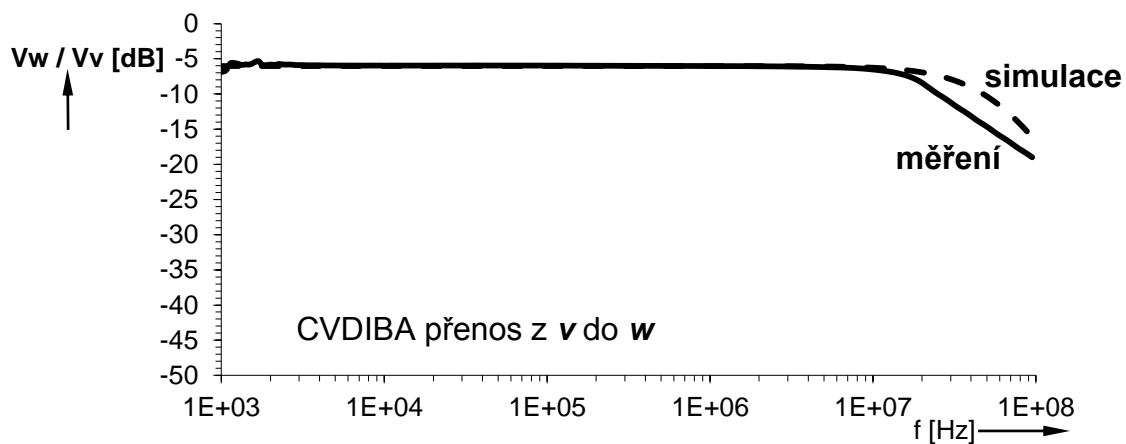
Obrázek 14 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem v_I



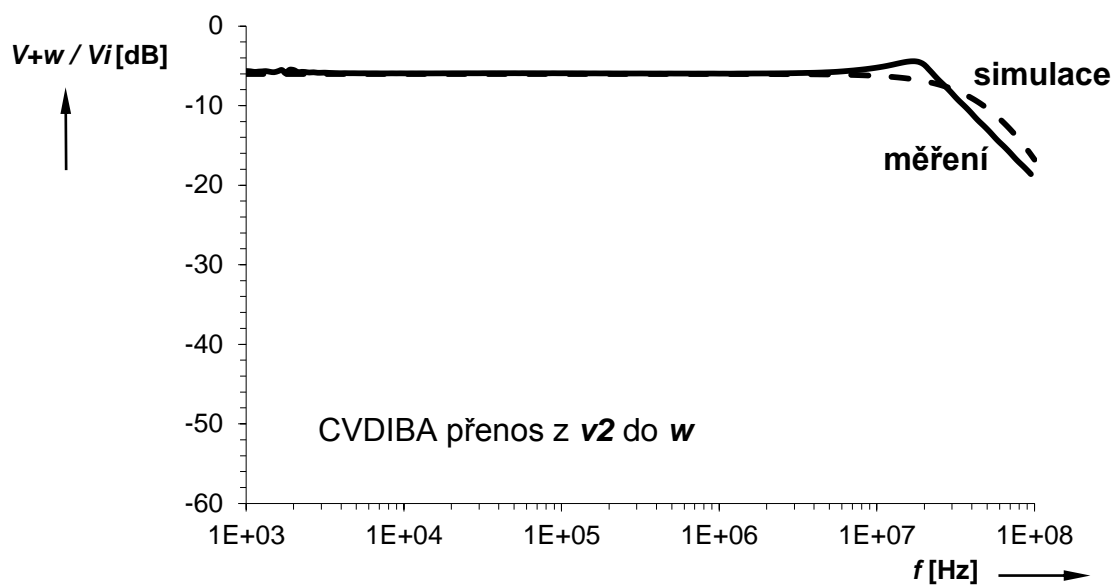
Obrázek 15 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem o dle obr. 19



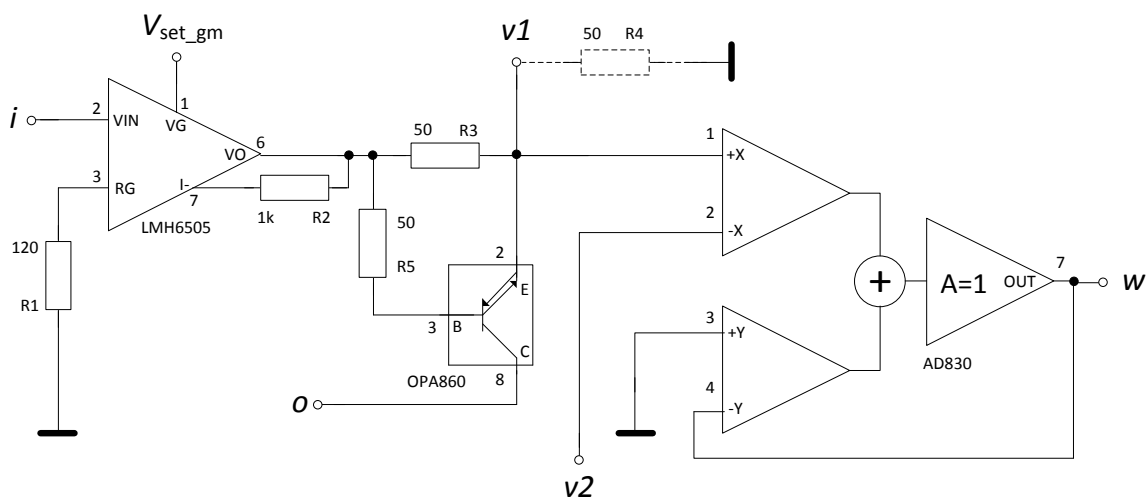
Obrázek 16 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem i a výstupem w



Obrázek 17 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem v a výstupem w



Obrázek 18 Měření kmitočtového přenosu CVDIBA mezi vstupem v a výstupem w



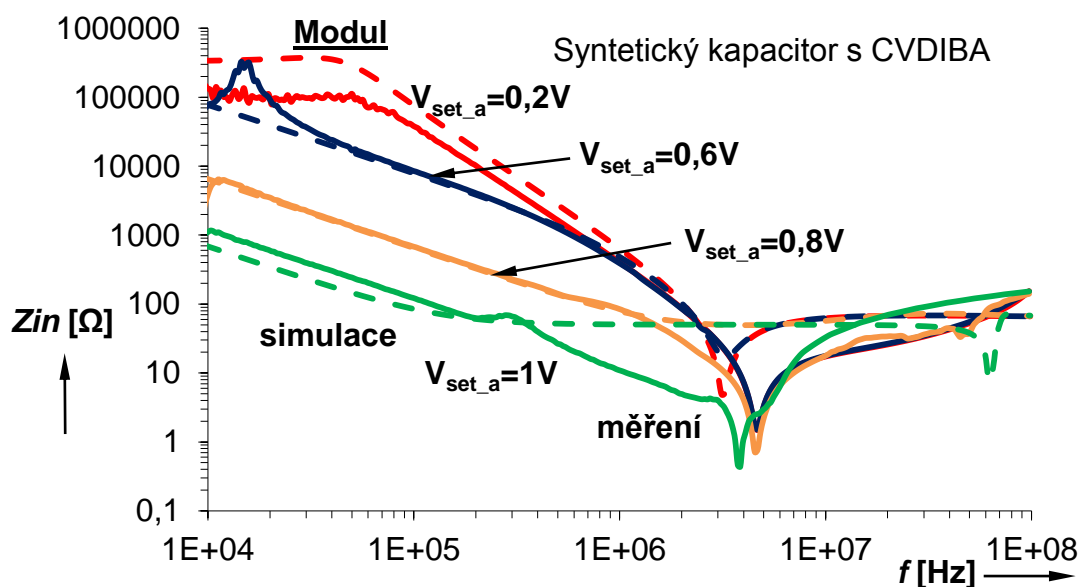
Obrázek 19 Schéma behaviorálního modelu prvku CVDIBA s doplněným proudovým výstupem o

Při použití přídatného proudového výstupu o je nutno vývod $v1$ zatížit např. rezistorem s hodnotou 50Ω .

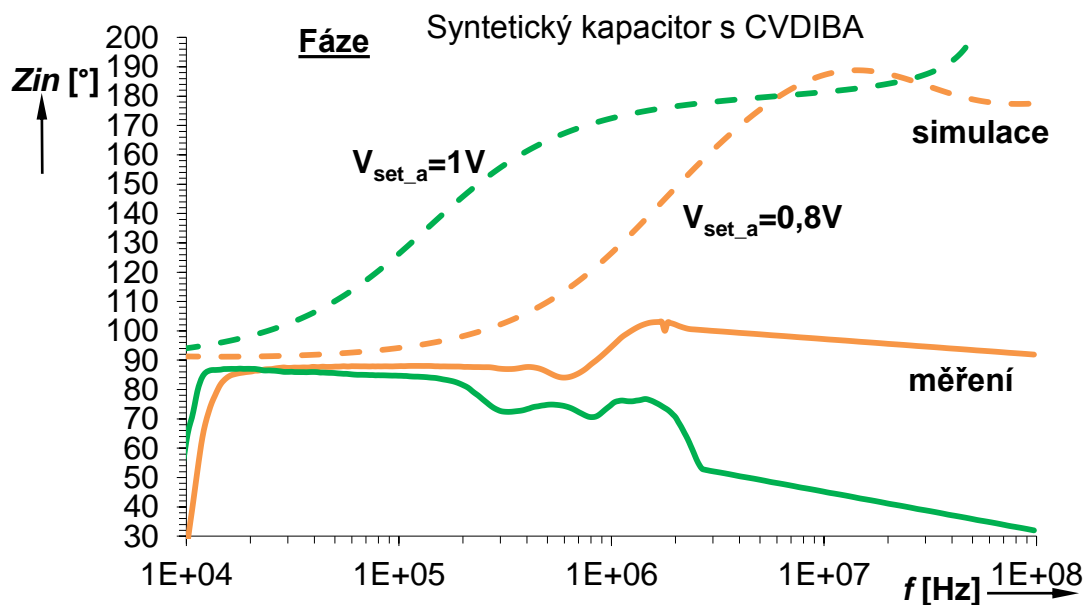
4.4 Aplikace prvku CVDIBA

4.4.1 Syntetický kapacitor s prvkem CVDIBA

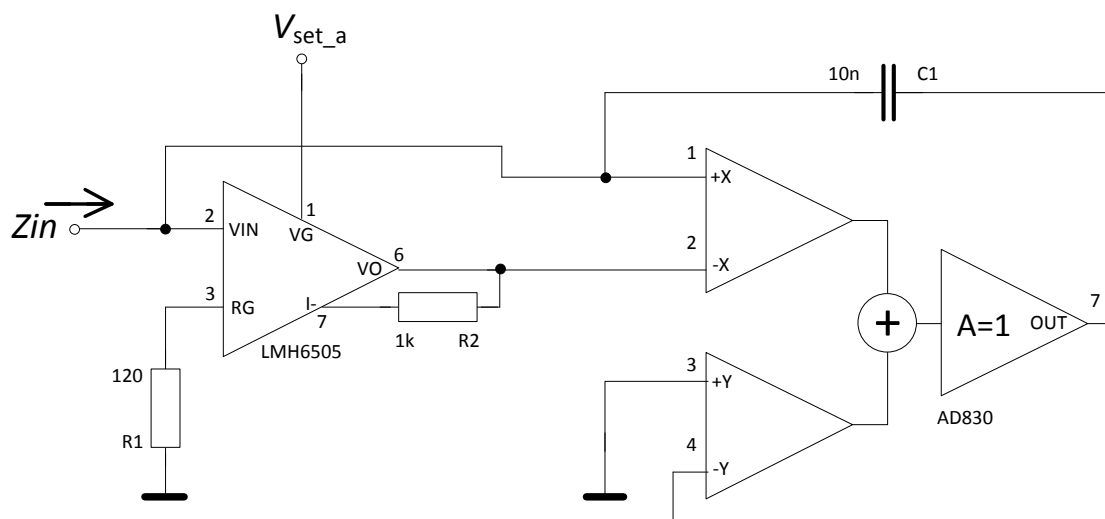
Měření v kmitočtové oblasti proběhlo pomocí obvodového analyzátoru Keysight / Agilent E5071C. Na prvku CVDIBA došlo k malým úpravám.



Obrázek 20 Měření modulu impedance syntetického kapacitoru s CVDIBA

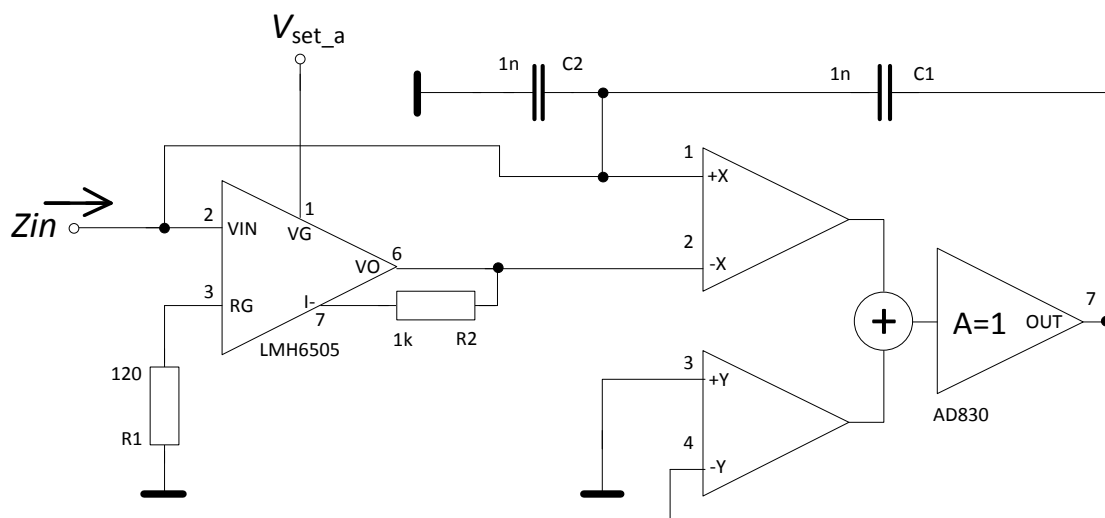


Obrázek 21 Měření fáze impedance syntetického kapacitoru c CVDIBA

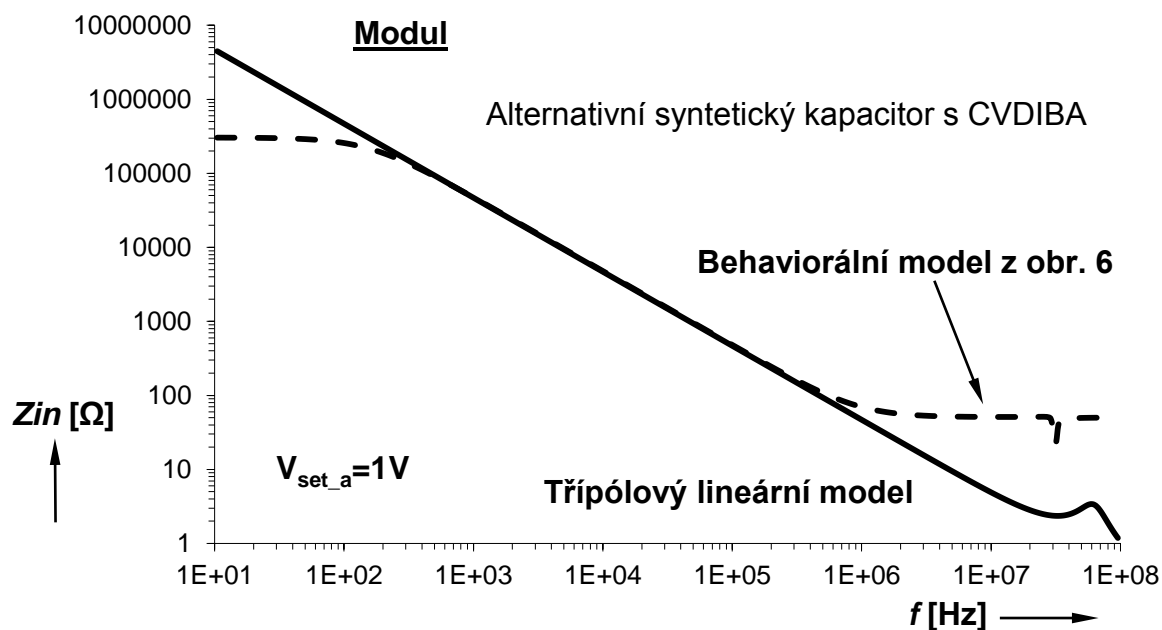


Obrázek 22 Schéma syntetického kapacitoru s aktivním prvkem CVDIBA

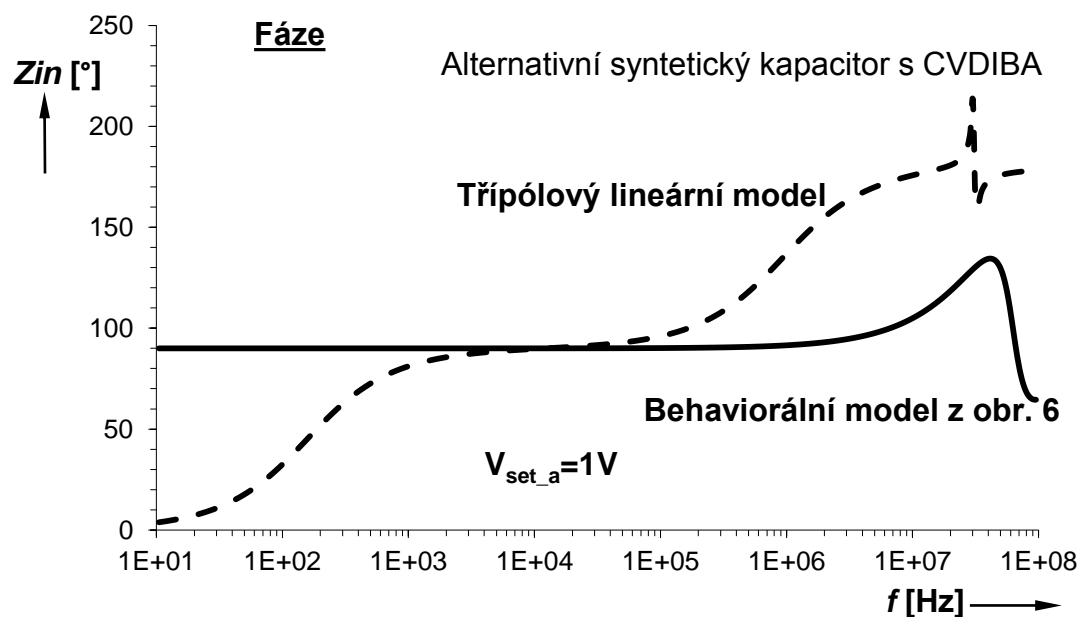
4.4.2 Alternativní syntetický kapacitor s prvkem CVDIBA



Obrázek 23 Schéma alternativního syntetického kapacitoru s aktivním prvkem CVDIBA



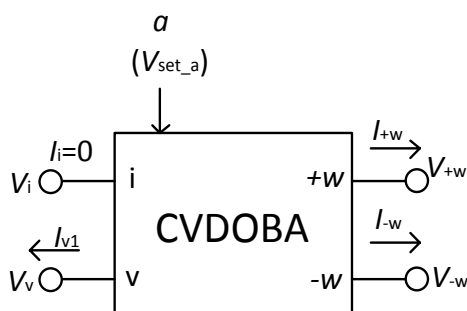
Obrázek 24 Kmitočtový přenos alternativního syntetického kapacitoru s CVDIBA



Obrázek 25 Fáze kmitočtového přenosu alternativního syntetického kapacitoru s CVDIBA

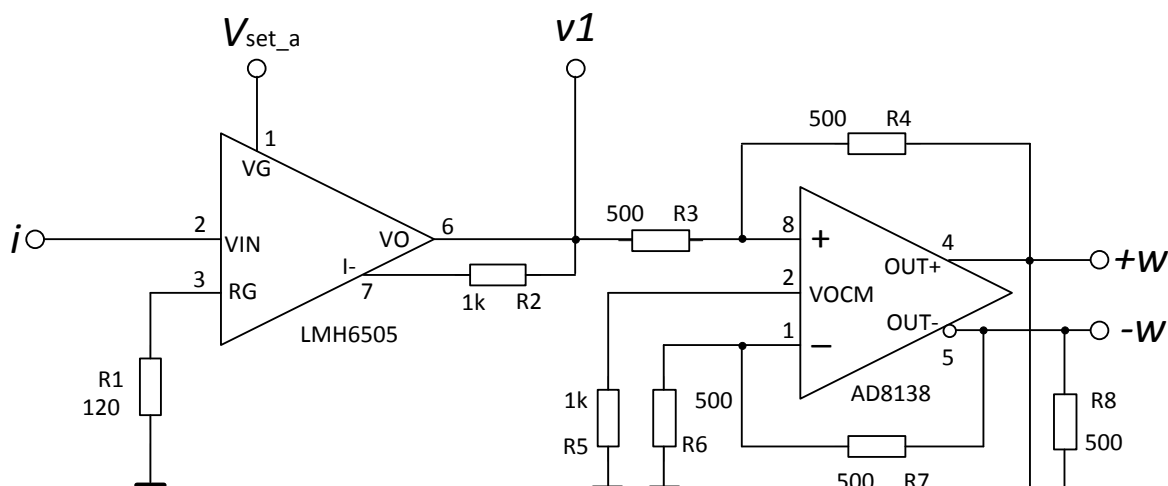
5 AKTIVNÍ PRVEK CVDoba

Aktivní prvek CVDoba (current voltage differencing output buffered amplifier) [1] obsahuje napěťový vstup i , napěťový výstup v , napěťový výstup $-w$ a napěťový výstup $+w$, přičemž platí $v_v = v_i \cdot a$, $v_{+w}=v_v$, $v_{-w}=-v_v$. Dále také může obsahovat proudový výstup o , pro který platí $I_o=v_i \cdot b$. To bude řešeno ke konci kapitoly. Je tvořen nastavitelným zesilovačem LMH6505 [11] s udanou šířkou pásma 100 MHz a diferenciálním budičem AD8138 [12] s udanou šířkou pásma 320 MHz. Napěťové zesílení a může být nastavována změnou napětí V_{set_a} od 0,5 do 1,5V. Obvody LMH6505, AD8138 a OPA860 [15] jsou napájeny symetrickým napětím $\pm 5V$.



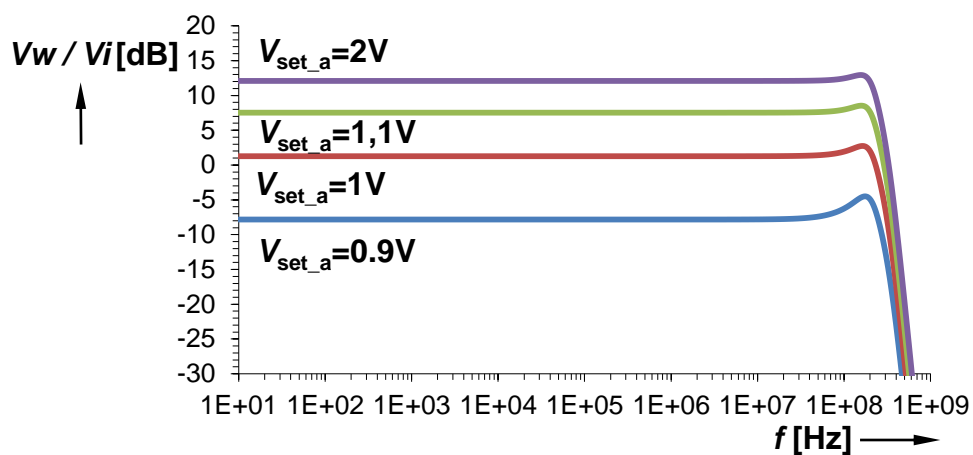
Obrázek 26 Symbol aktivního prvku CVDoba

5.1 Schéma

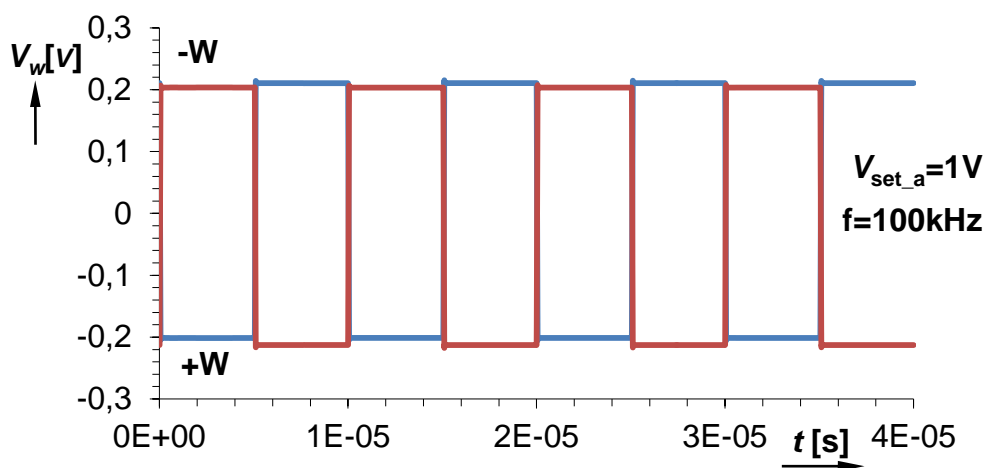


Obrázek 27 Schéma behaviorálního modelu prvku CVDoba

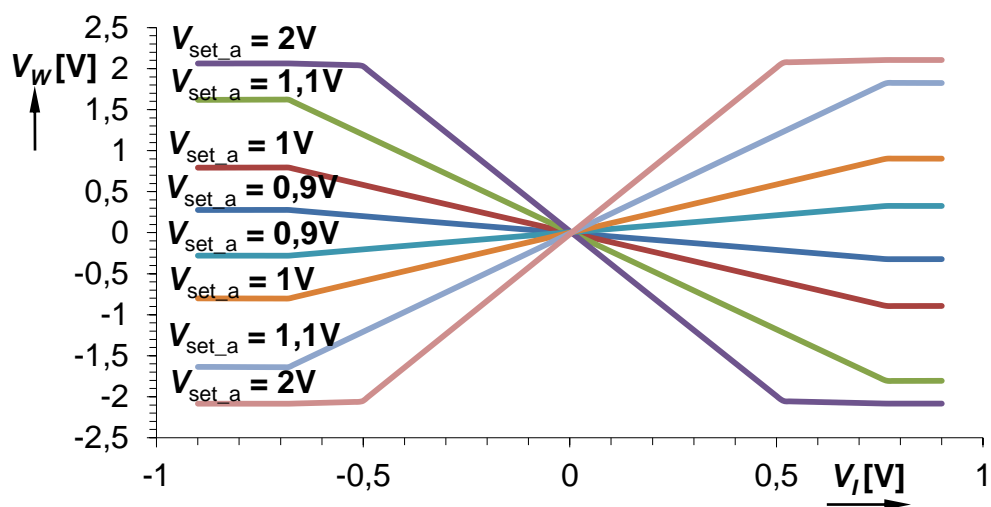
Byla získána odezva obvodu v kmitočtové, časové i stejnosměrné oblasti. Šířka pásma pro $V_{set_a}=1V$ je cca 260MHz pro pokles o 3 dB.



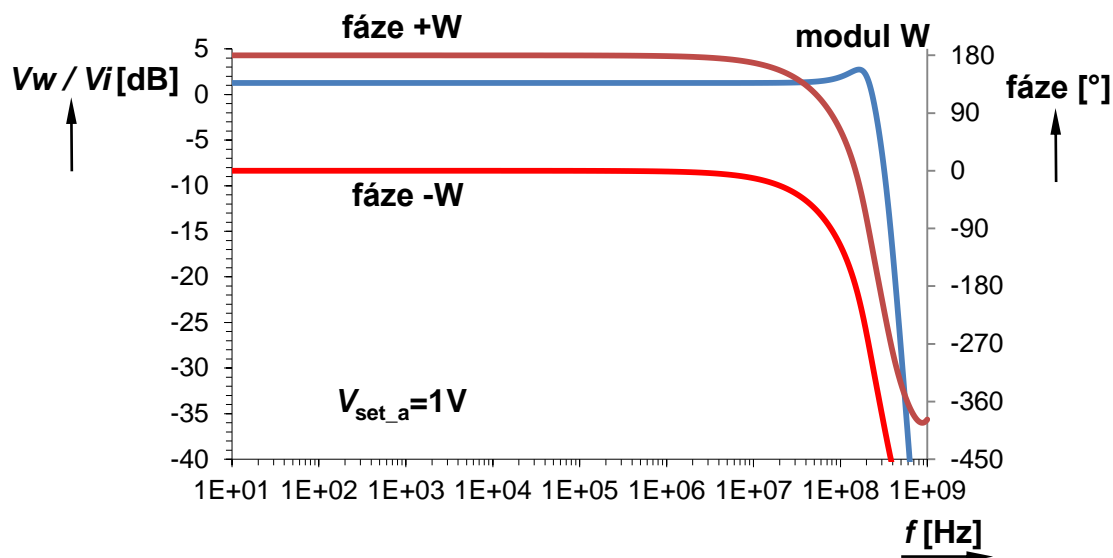
Obrázek 28 Kmitočtový přenos CVDOBA pro různé V_{set_a}



Obrázek 29 Přenos CVDOBA v časové oblasti



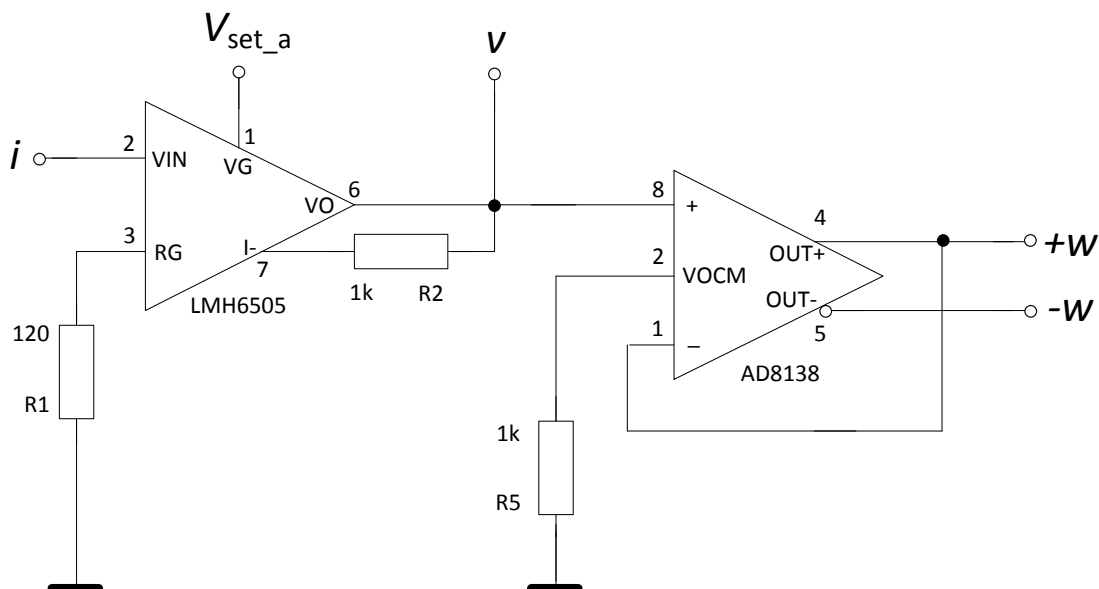
Obrázek 30 Stejnoseměrný přenos CVDOBA pro různé V_{set_a}



Obrázek 31 Modul a fáze kmitočtového přenosu CVDOBA

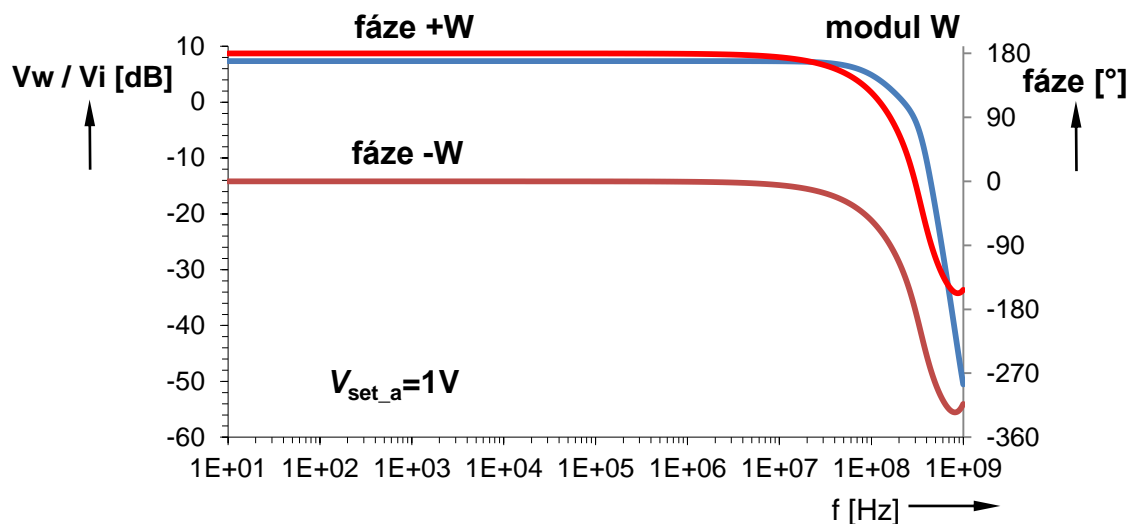
5.2 Alternativní schéma prvku CVDOBA

Pro dosažení lepšího fázového přenosu bylo navrženo alternativní schéma zapojení.



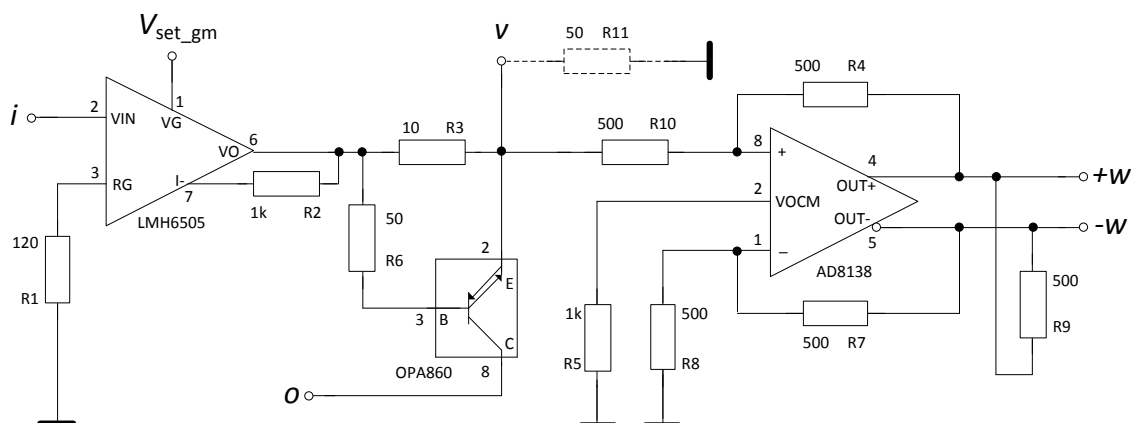
Obrázek 32 Alternativní schéma behaviorálního modelu prvku CVDOBA

Fázový přenos byl porovnán s předchozím zapojením. Zapojení z obr. 32 vykazuje lepší fázový přenos. Ale při realizaci na DPS se u zapojení z obr. 32 projevovala značná nestabilita a náchylnost k rozkmitání.



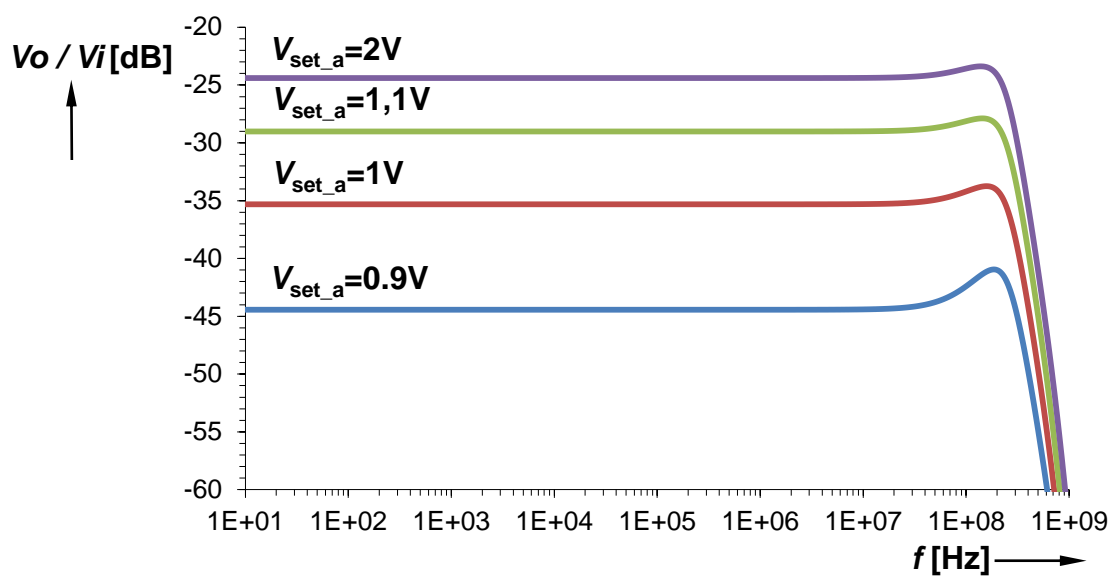
Obrázek 33 Modul a fáze kmitočtového přenosu alternativní verze CVDoba

Pomocí diamantového tranzistoru OPA860 lze vytvořit přídatný proudový výstup „o“. Při simulaci je vývod „o“ zatížen rezistorem 1Ω .

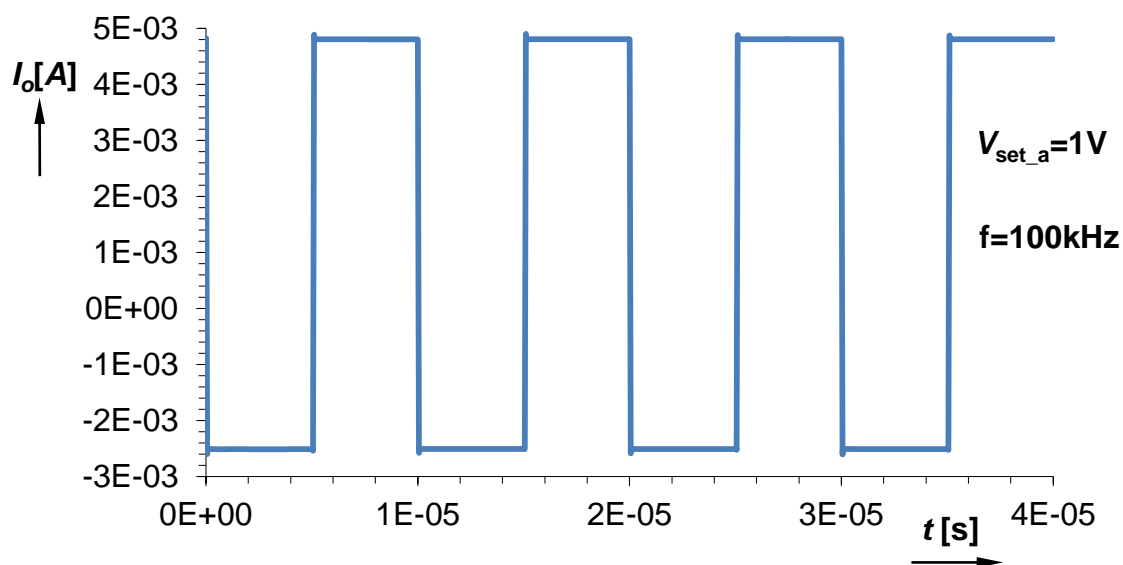


Obrázek 34 Schéma behaviorálního modelu prvku CVDoba s přídatným proudovým výstupem „o“.

Šířka pásma proudového výstupu „o“ pro $V_{set_a}=1V$ je cca 300MHz pro pokles o 3 dB. Obvod s OPA860 jeví za určitých okolností náchylnost k rozkmitání.

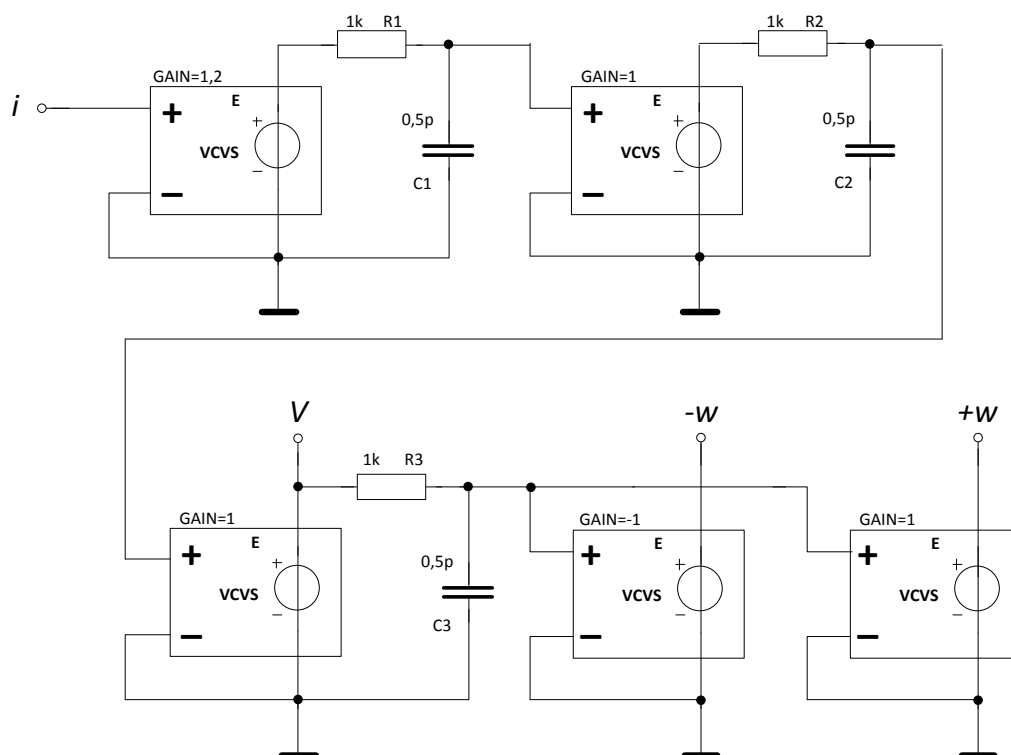


Obrázek 35 Kmitočtový přenos vývodu "o" CVDOPA pro zátěž 1Ω

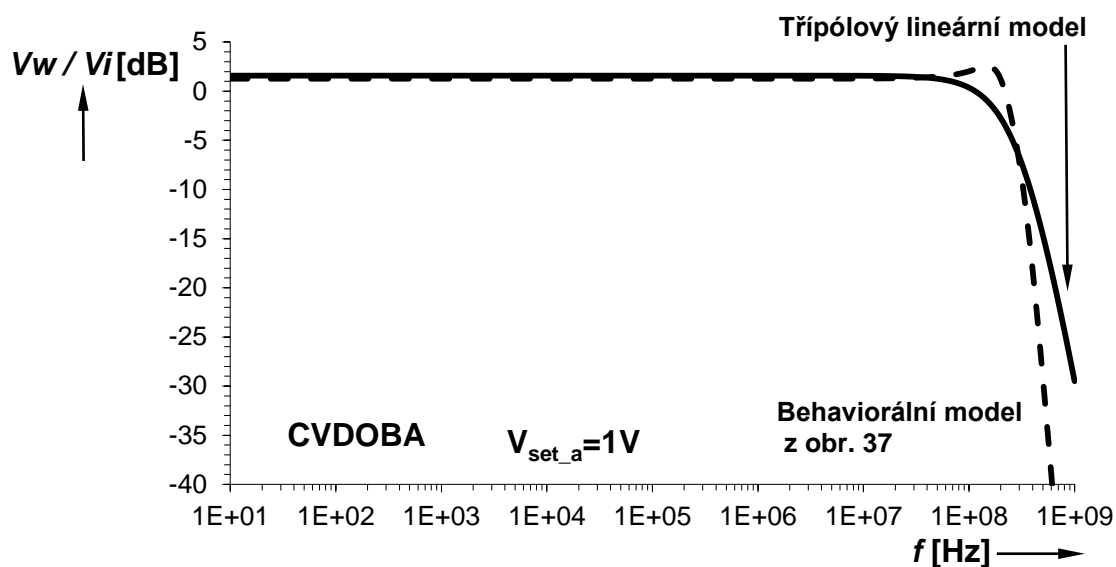


Obrázek 36 Přenos vývodu "o" v časové oblasti

5.3 Třípólový lineární model



Obrázek 37 Jednoduchý třípólový lineární model prvku CVDOPA

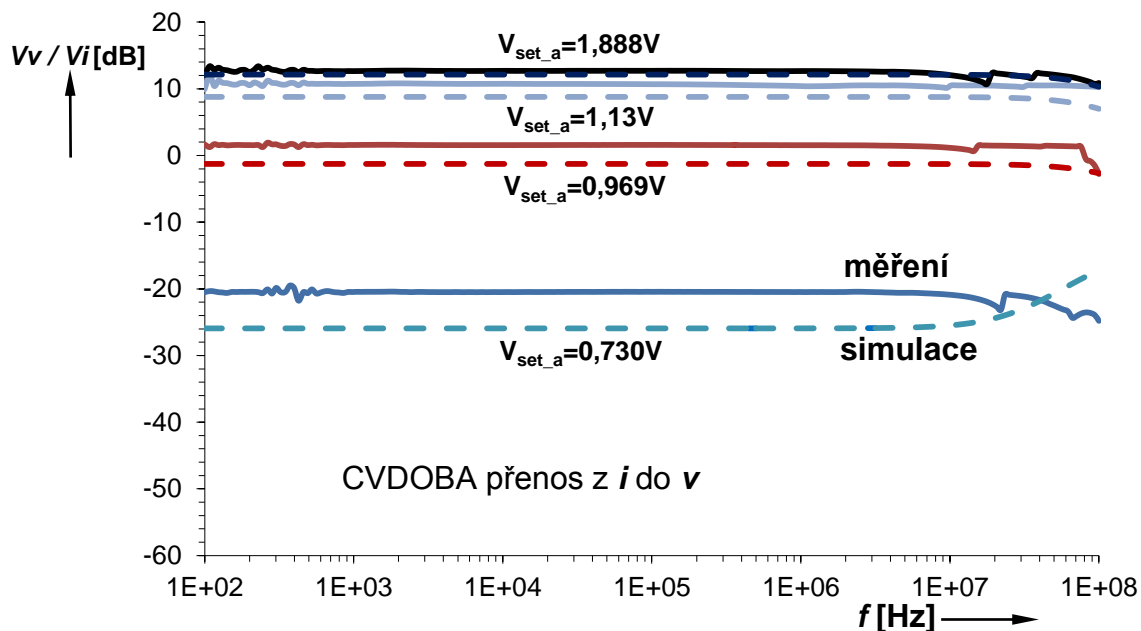


Obrázek 38 Porovnání behaviorálního modelu CVDOPA s třípólovým lineárním modelem

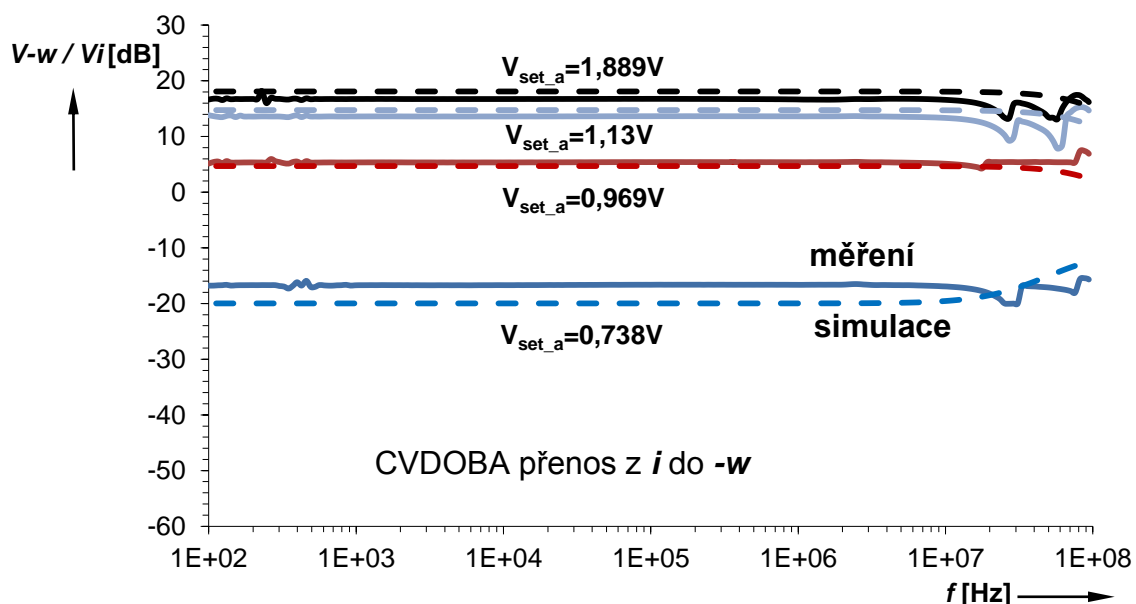
U třípólového lineárního modelu je patrné pomalejší klesání kmitočtové charakteristiky.

5.4 Měření prvku CVDOBA

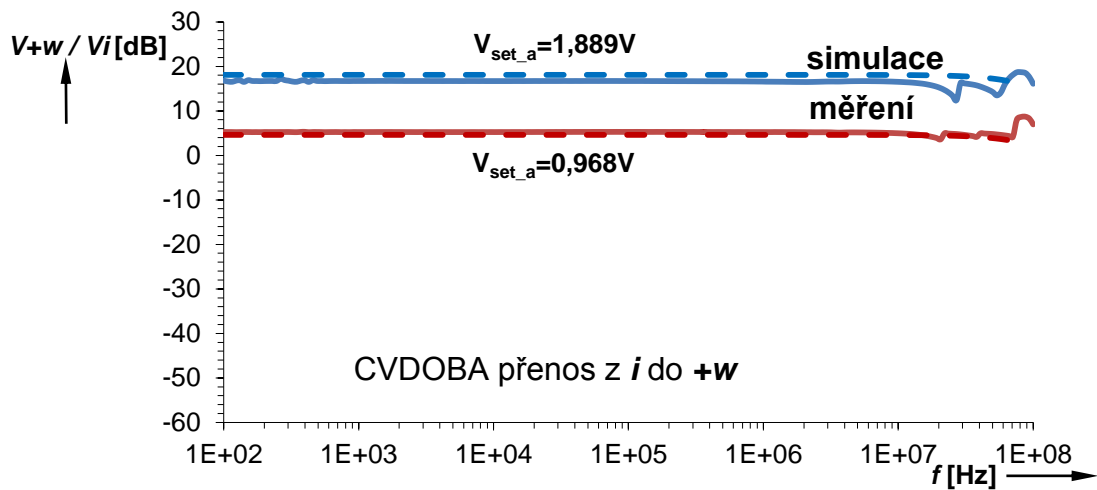
Měření v kmitočtové oblasti proběhlo pomocí obvodového analyzátoru Keysight / Agilent 4395A při nastavení *source power* -15dBm . Na vyšších kmitočtech jsou patrné nežádoucí výkyvy způsobené špatnou kompenzací měřicí soustavy. Výkyvy byly při zpracování naměřených dat dodatečně odstraněny.



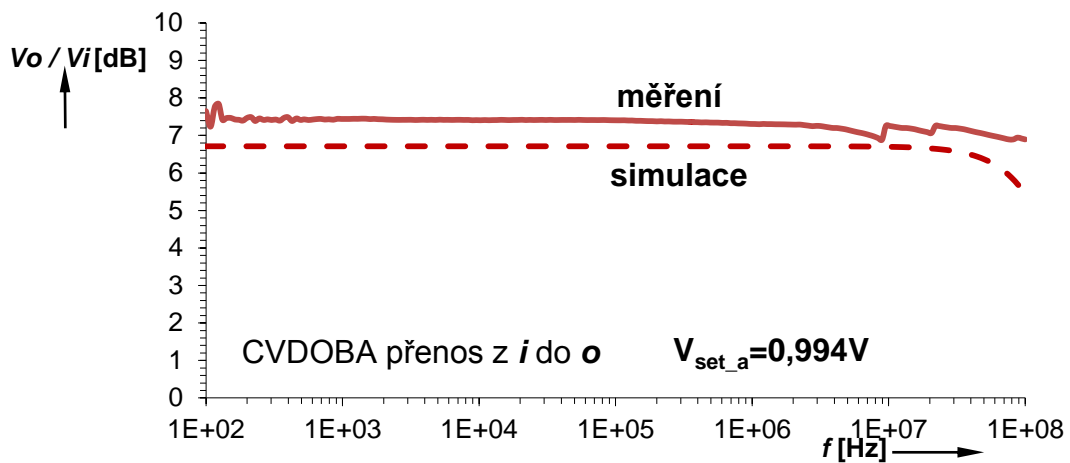
Obrázek 39 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem v a výstupem i



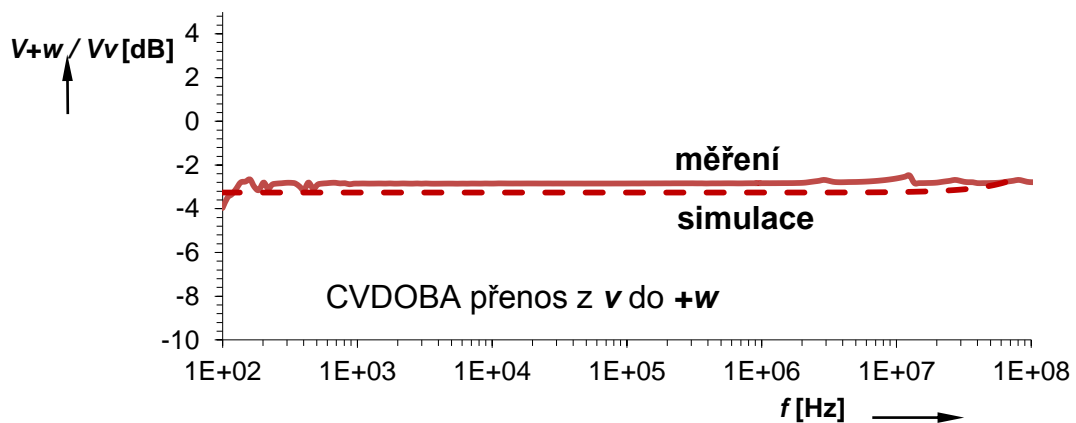
Obrázek 40 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem i a výstupem $-w$



Obrázek 41 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem i a výstupem $+w$



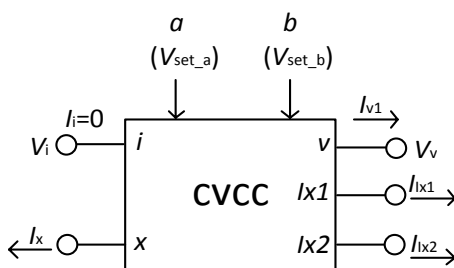
Obrázek 42 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem i a výstupem o



Obrázek 43 Měření kmitočtového přenosu CVDOBA mezi vstupem v a výstupem w

6 AKTIVNÍ PRVEK CVCC

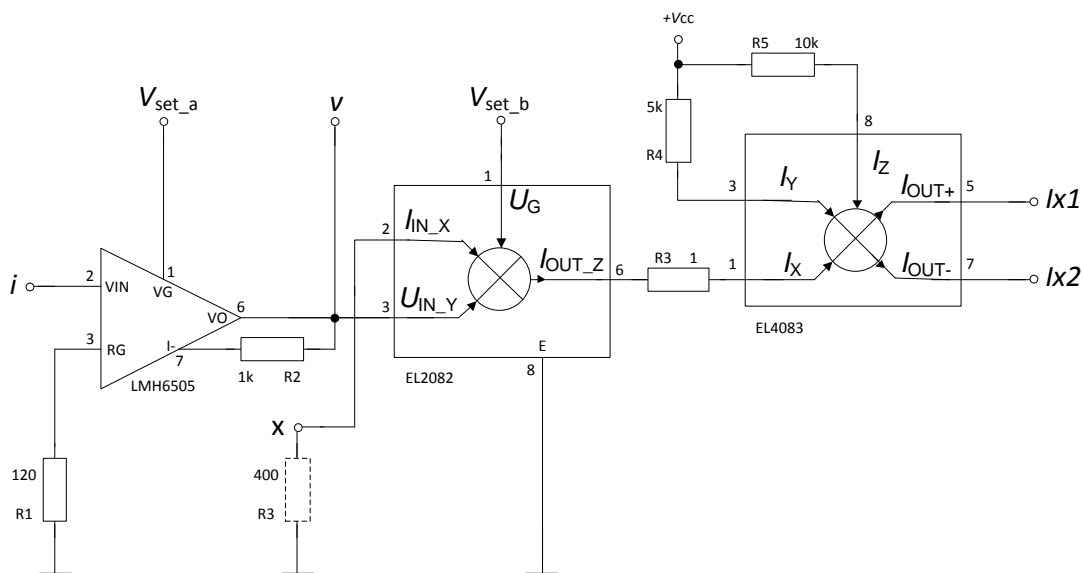
Aktivní prvek CVCC (current voltage current conveyor) [1] obsahuje napětový vstup i , napětový výstup v , proudový vstup x , proudový výstup I_{x1} a proudový výstup I_{x2} , přičemž platí $v_v = v_i \cdot a$, $I_{x1} = b \cdot I_x$, $I_{x2} = -b \cdot I_x$. Je tvořen nastavitelným zesilovačem LMH6505 [11] s udanou šířkou pásma 100 MHz, proudovým konvejorem EL2082 [13] s udanou šířkou pásma 150 MHz a proudovou čtyřkvadrantovou násobičkou EL4083 [14] s udanou šířkou pásma 200 MHz. Napětové zesílení a může být nastavováno změnou napětí V_{set_a} od 0,5 do 1,5V. Proudový zisk EL2082 může být nastaven pomocí V_{set_b} od 1 do 7V. Obvody LMH6505 a OPA860 jsou napájeny symetrickým napětím $\pm 5V$, obvody EL2082 a EL4083 symetrickým napětím $\pm 15V$.



Obrázek 44 Symbol obvodu CVCC

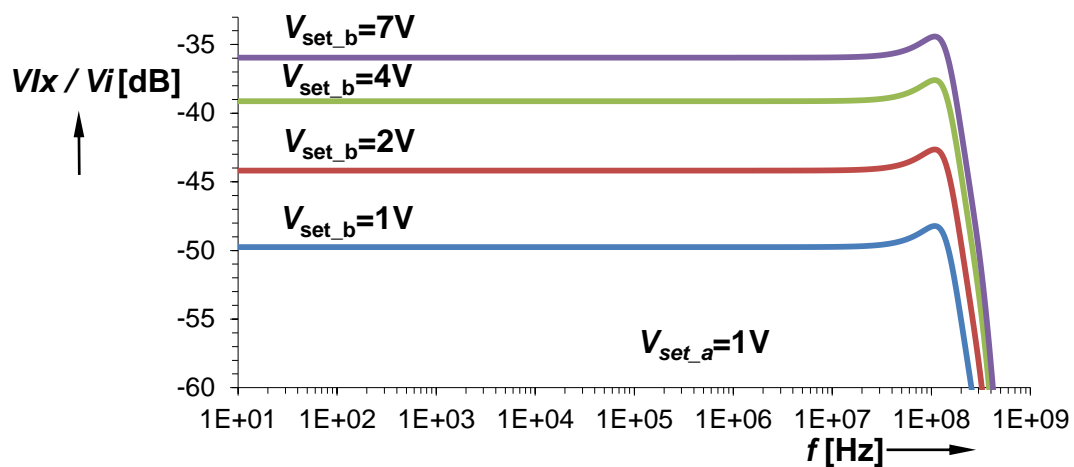
6.1 Schéma

Při simulaci musí být vývod x uzemněn vhodným rezistorem, zde bylo zvoleno 400Ω .



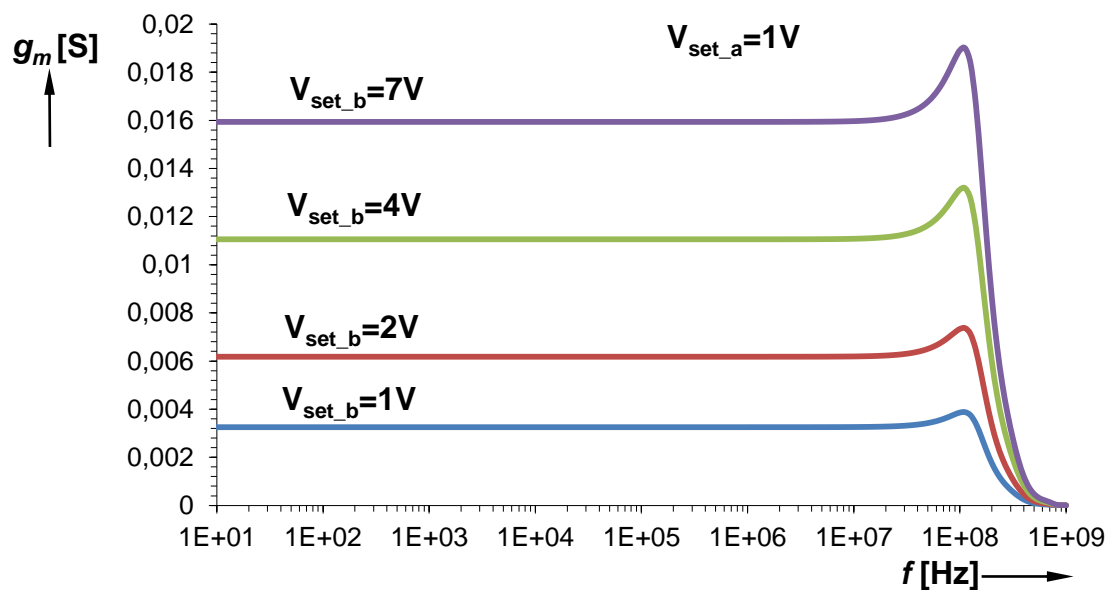
Obrázek 45 Schéma behaviorálního modelu prvku CVCC

Též proudové výstupy budou zatíženy rezistory 1 Ω .

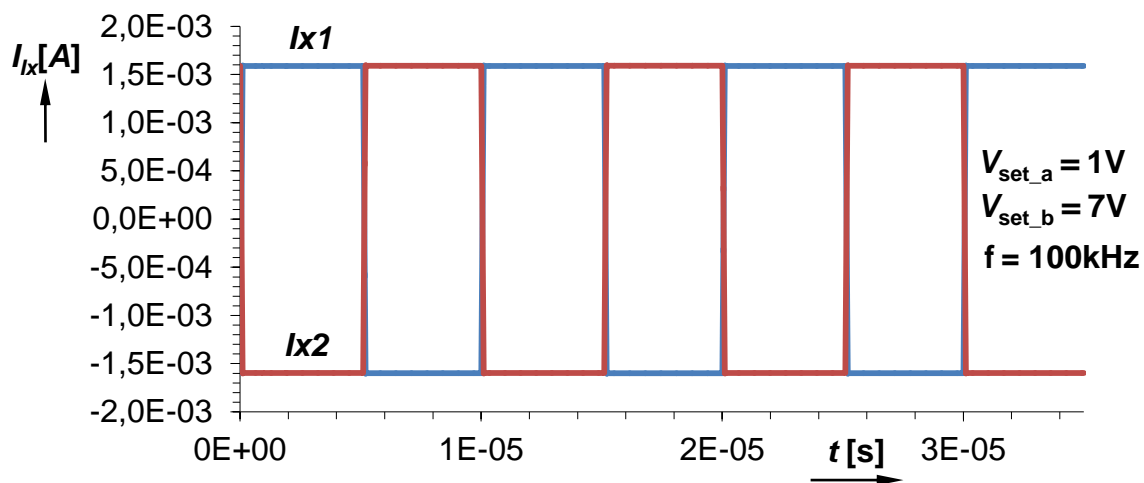


Obrázek 46 Kmitočtový přenos CVCC

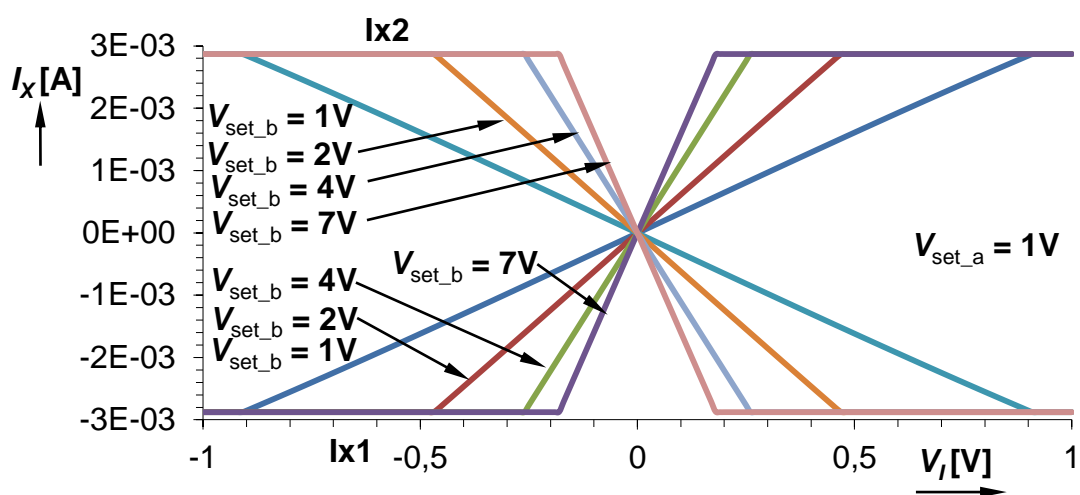
Byla získána odezva obvodu v kmitočtové, časové i stejnosměrné oblasti. Šířka pásma pro $V_{set_b}=2V$ je cca 180MHz pro pokles o 3 dB.



Obrázek 47 Průběh transkonduktance CVCC



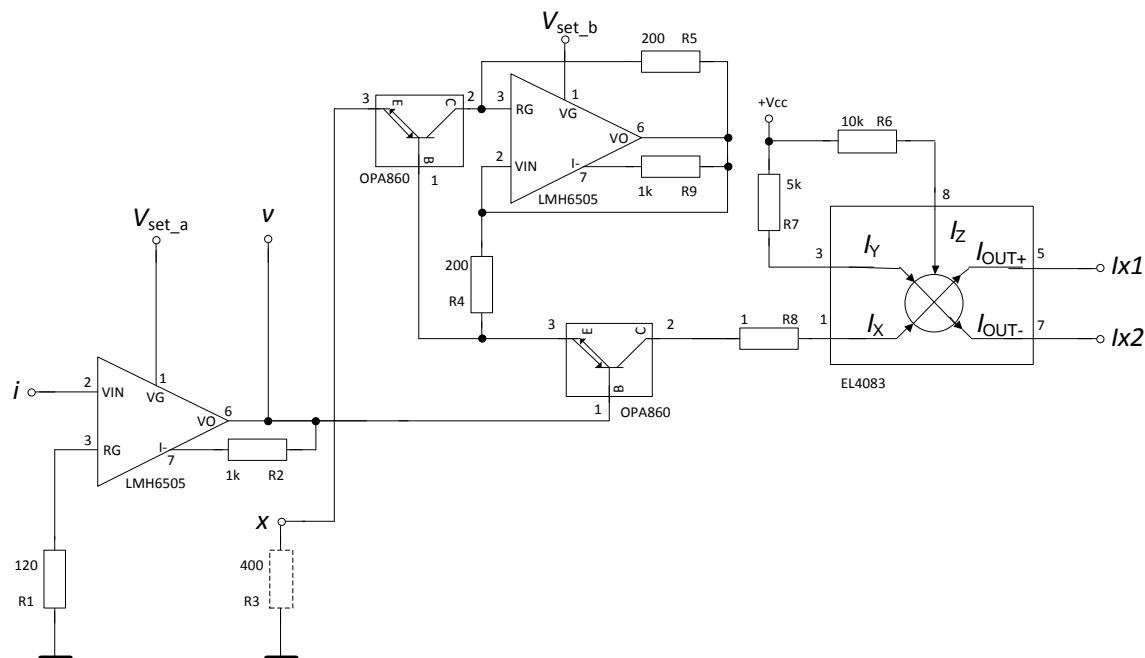
Obrázek 48 Přenos CVCC v časové oblasti



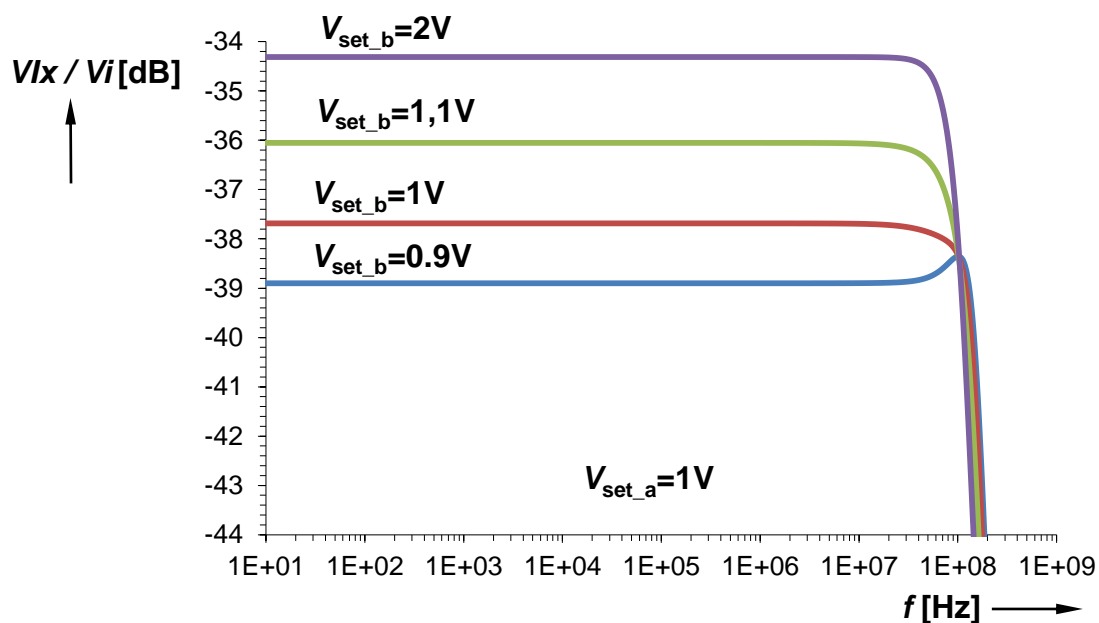
Obrázek 49 Stejnoseměrný přenos CVCC

6.2 Alternativní schéma prvku CVCC

Při nedostupnosti EL2082 lze využít náhradní zapojení s LMH6505 a dvěma diamantovými tranzistory OPA860 [10].

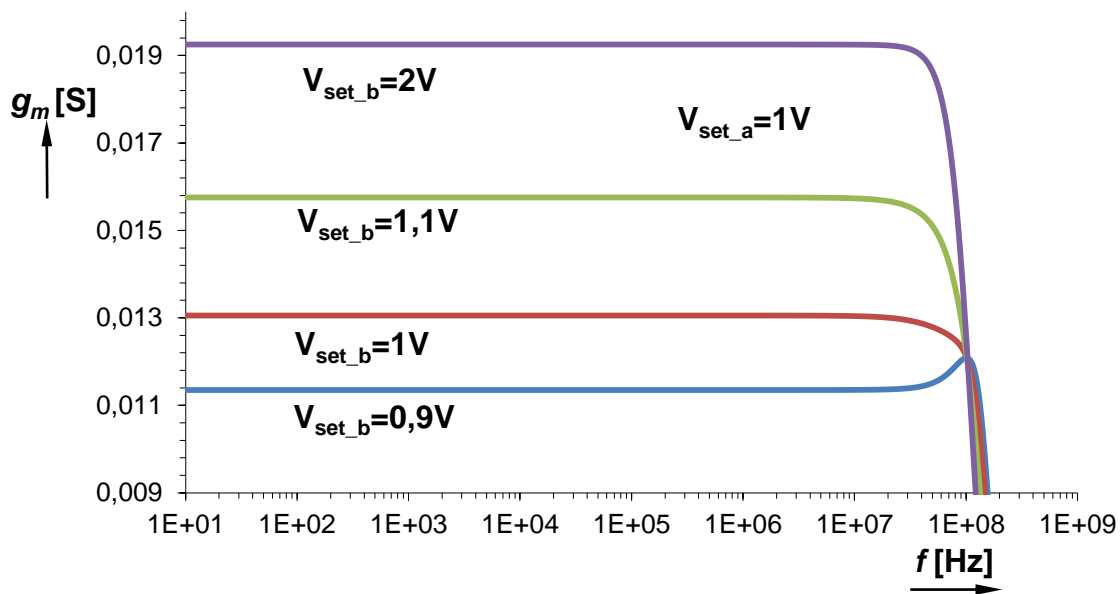


Obrázek 50 Alternativní schéma behaviorálního modelu prvku CVCC

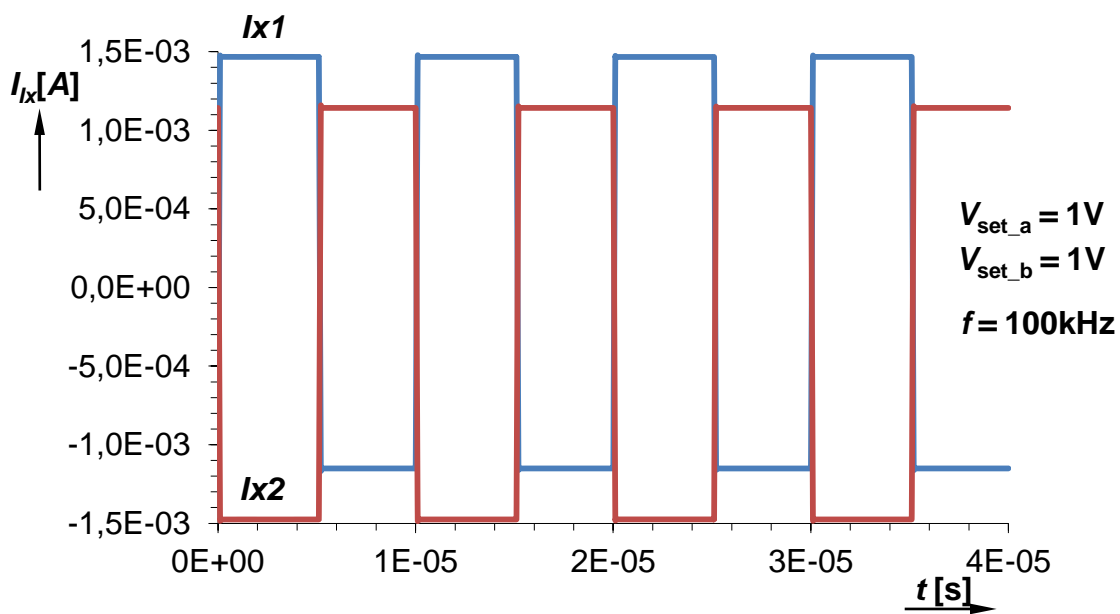


Obrázek 51 Kmitočtový přenos alternativní verze CVCC

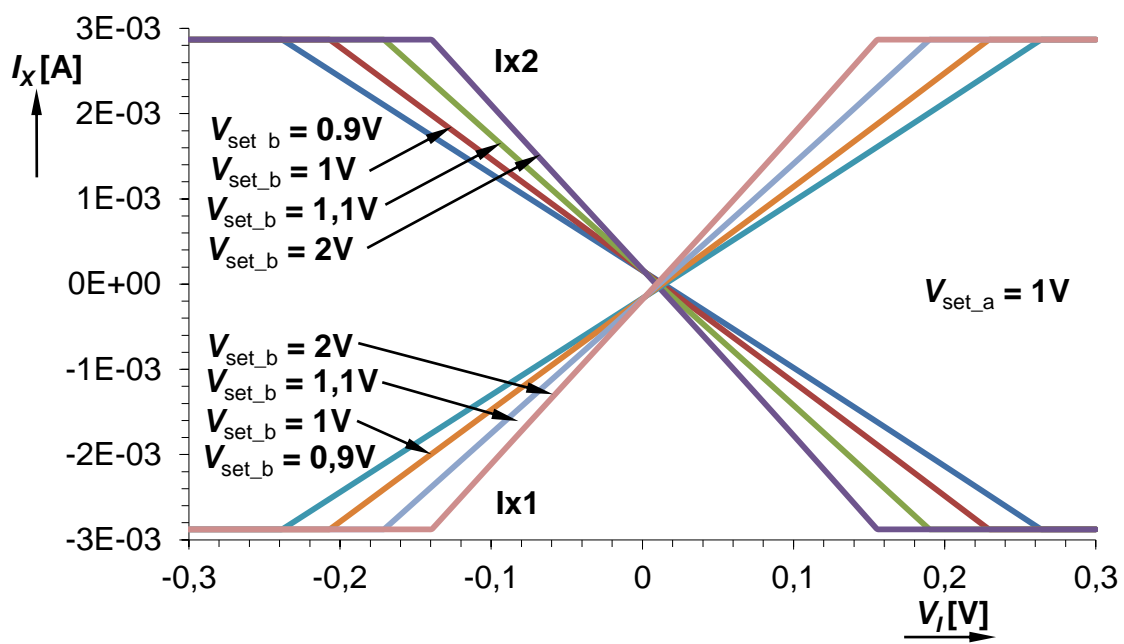
Šířka pásma pro $V_{set_b}=1V$ a $V_{set_a}=1V$ je cca 145MHz pro pokles o 3 dB.



Obrázek 52 Průběh transkonduktance alternativní verze CVCC

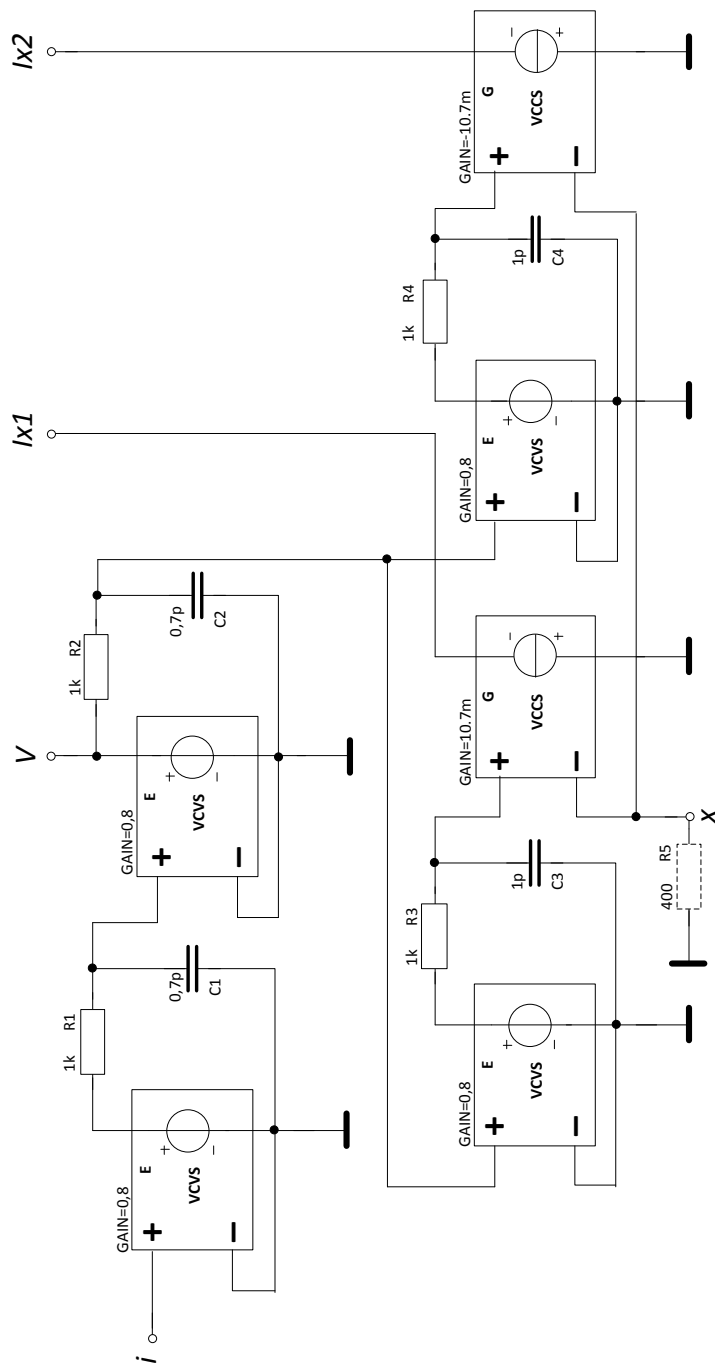


Obrázek 53 Přenos alternativní verze CVCC v časové oblasti

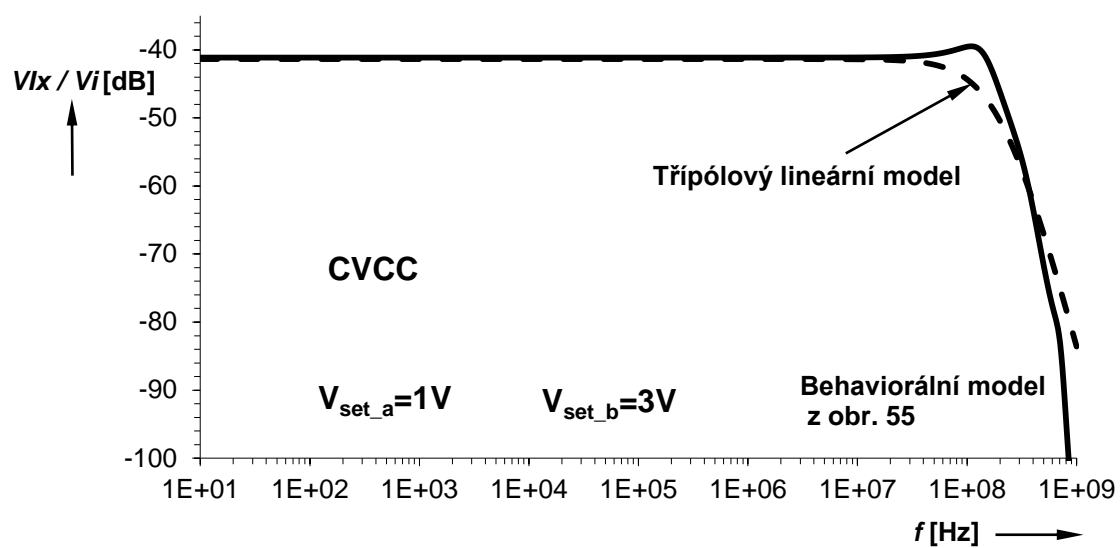


Obrázek 54 Stejnoseměrný přenos alternativní verze CVCC

6.3 Třípólový lineární model



Obrázek 55 Jednoduchý třípólový lineární model prvku CVCC

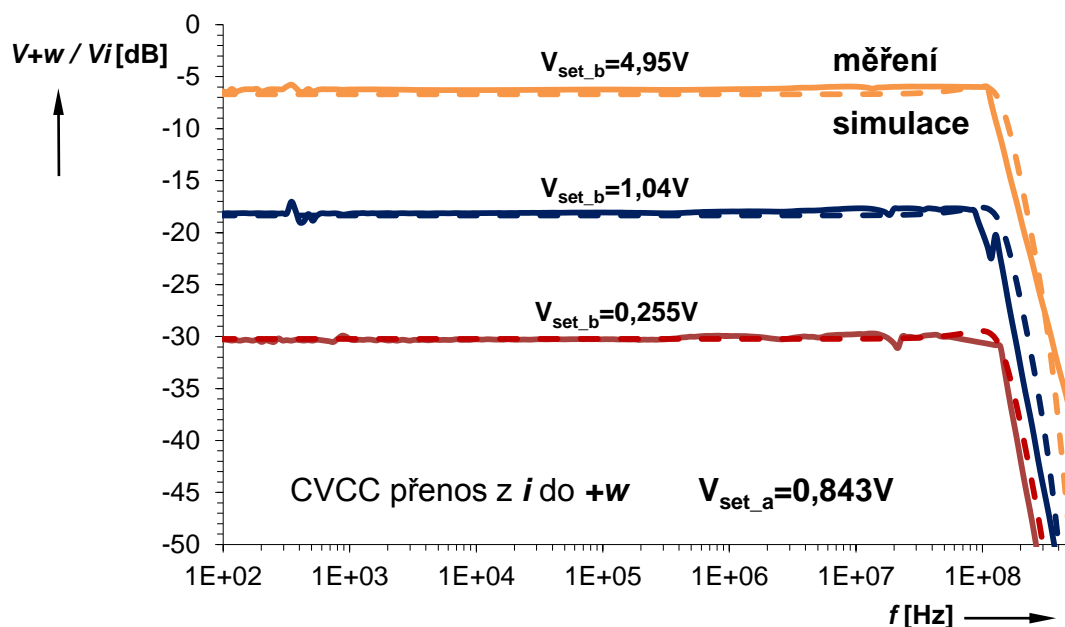


Obrázek 56 Porovnání behaviorálního modelu CVCC s třípólovým lineárním modelem

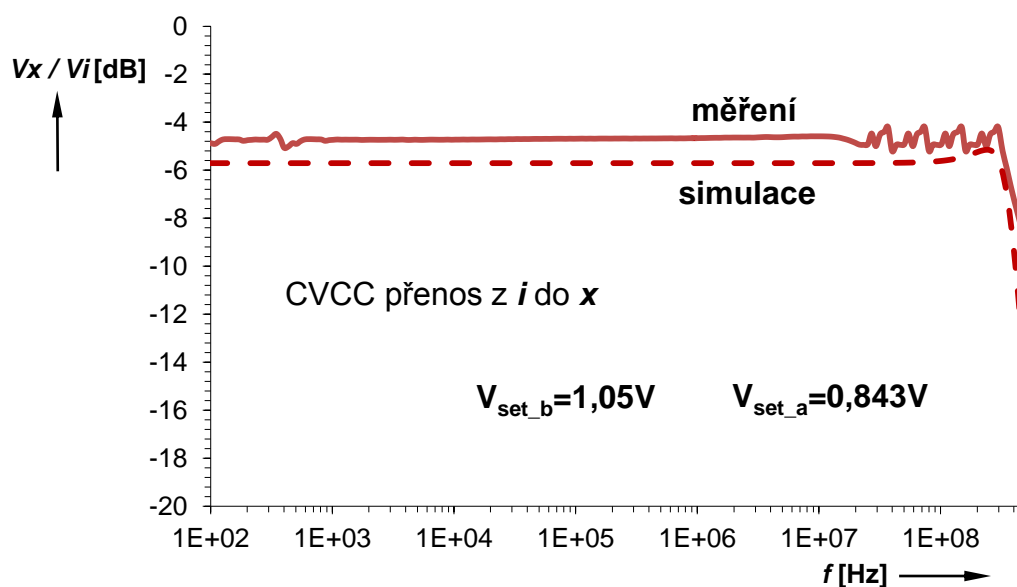
U třípólového lineárního modelu je patrné pomalejší klesání kmitočtové charakteristiky.

6.4 Měření prvku CVCC

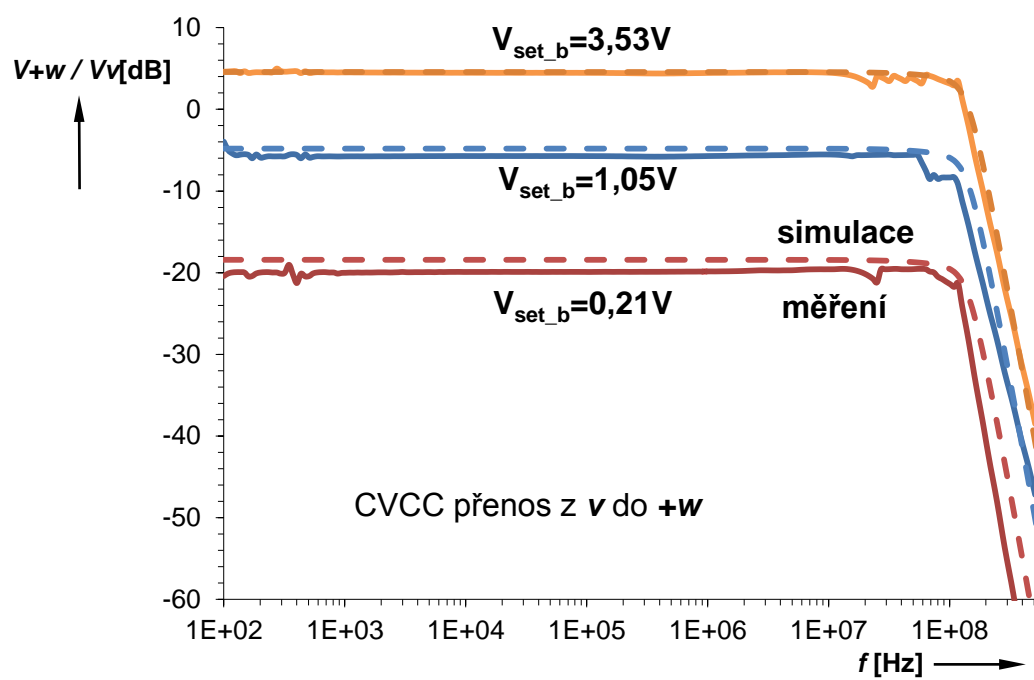
Měření v kmitočtové oblasti proběhlo pomocí obvodového analyzátoru Keysight / Agilent 4395A při nastavení *source power* -15dBm . Na vyšších kmitočtech jsou patrné nežádoucí výkyvy způsobené špatnou kompenzací měřicí soustavy. Výkyvy byly při zpracování naměřených dat dodatečně odstraněny.



Obrázek 57 Měření kmitočtového přenosu CVCC mezi vstupem i a výstupem $+w$



Obrázek 58 Měření kmitočtového přenosu CVCC mezi vstupem i a výstupem x

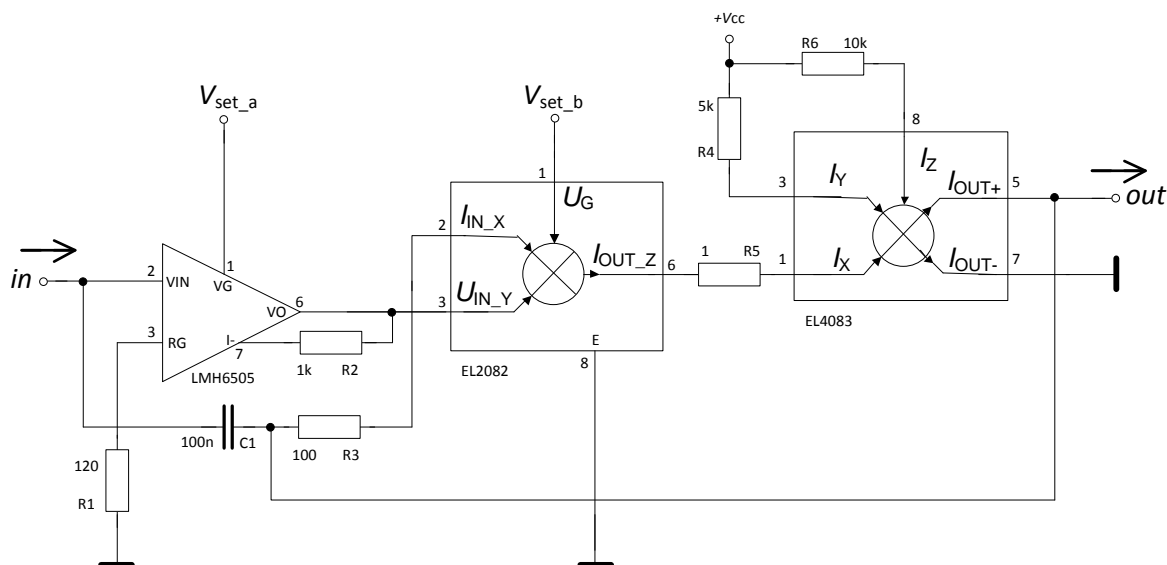


Obrázek 59 Měření kmitočtového přenosu CVCC mezi vstupem v a výstupem $+w$

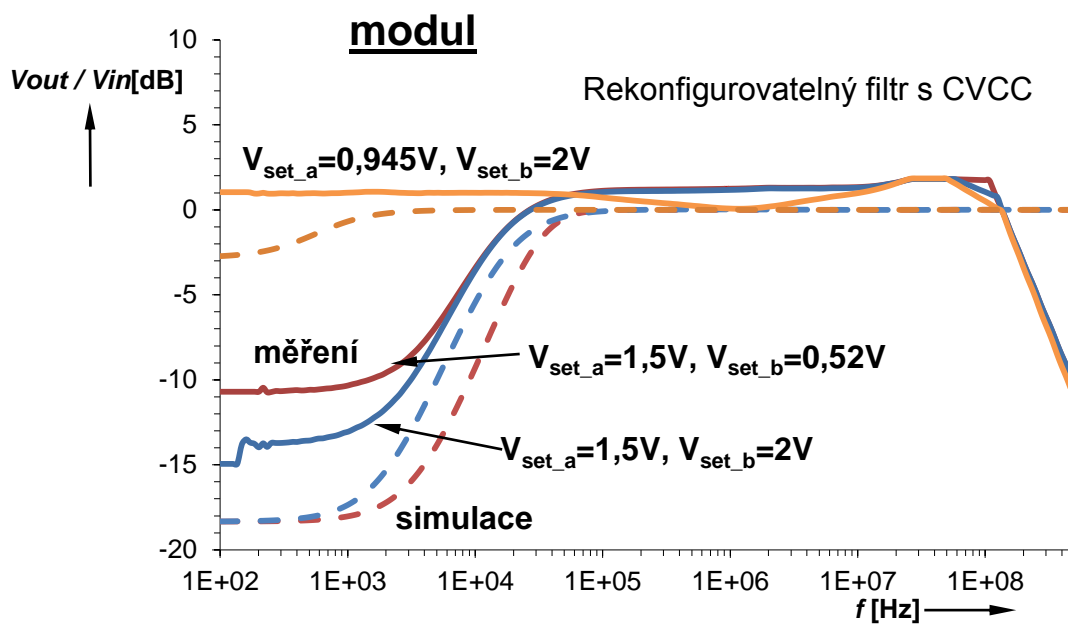
6.5 Aplikace prvku CVCC

6.5.1 Rekonfigurovatelný filtr s prvkem CVCC

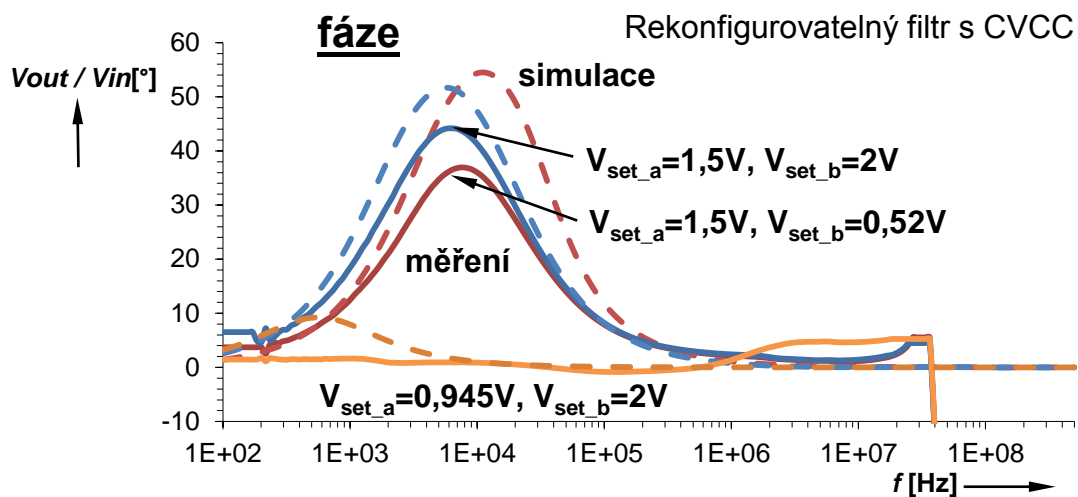
Měření v kmitočtové oblasti proběhlo pomocí obvodového analyzátoru Keysight / Agilent 4395A při nastavení source power -25dBm. Vhodným nastavením napětí V_{set_a} a V_{set_b} lze obdržet bilineární filtr (obr. 61), přímou linku (obr. 61) nebo horní propust (obr. 63).



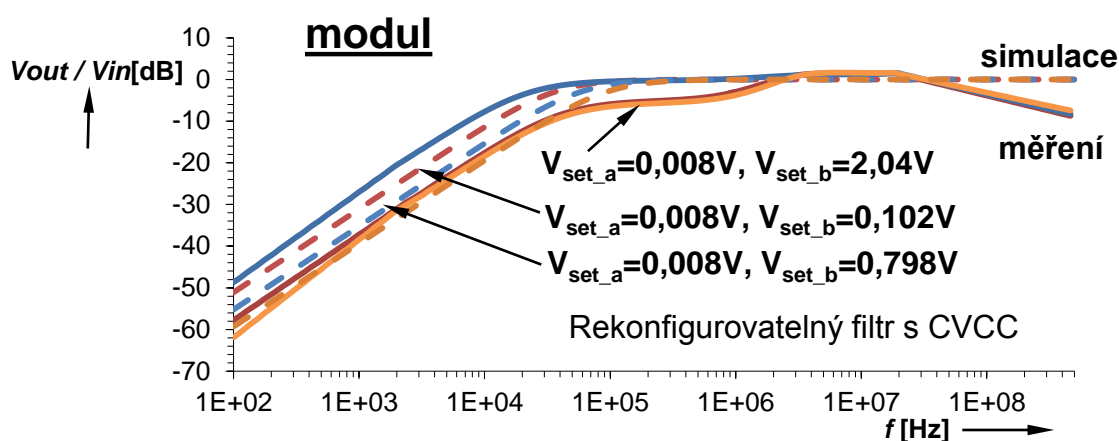
Obrázek 60 Schéma rekonfigurovatelného filtru s aktivním prvkem CVCC



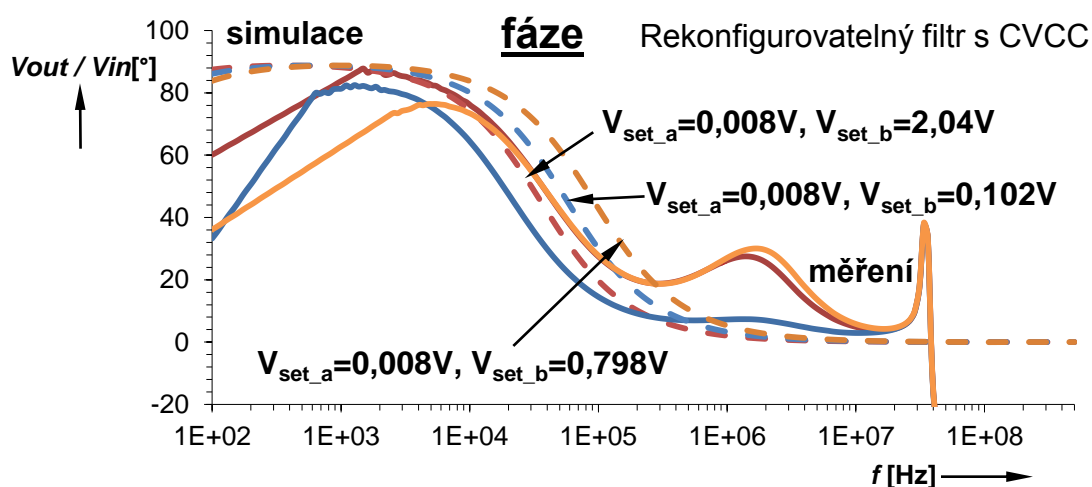
Obrázek 61 Měření fázovacího článku s CVCC



Obrázek 62 Měření fázovacího článku s CVCC

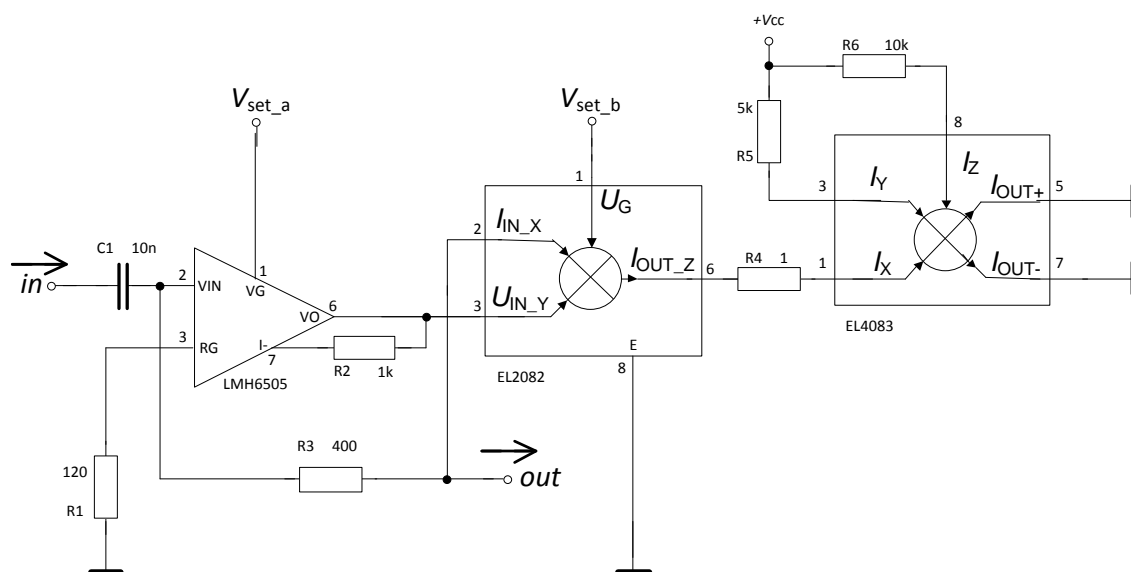


Obrázek 63 Měření horní propusti s CVCC

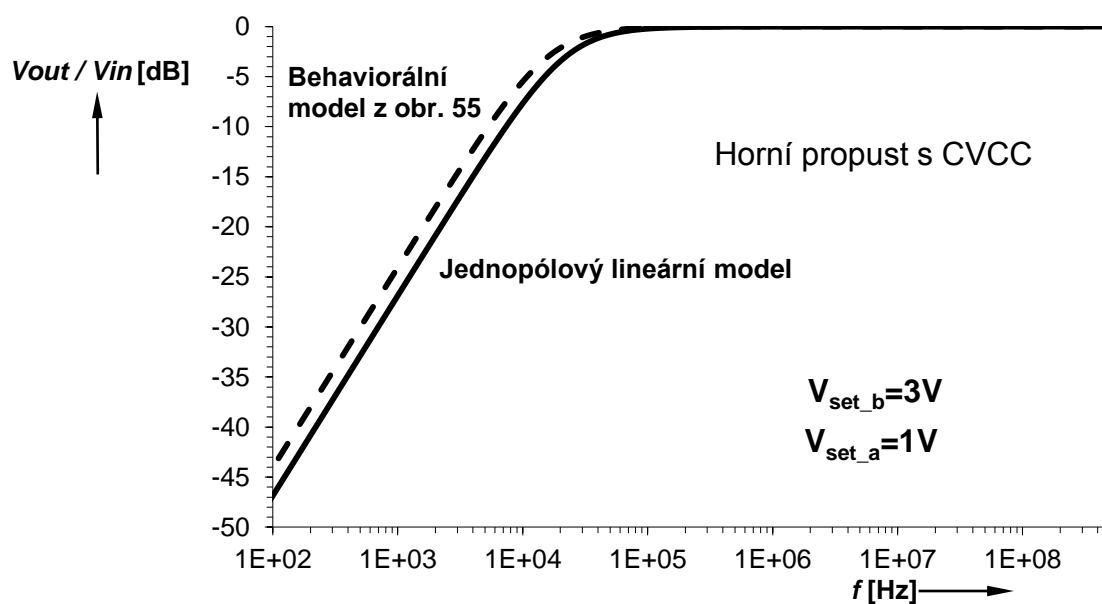


Obrázek 64 Měření horní propusti s CVCC

6.5.2 Horní propust s prvkem CVCC

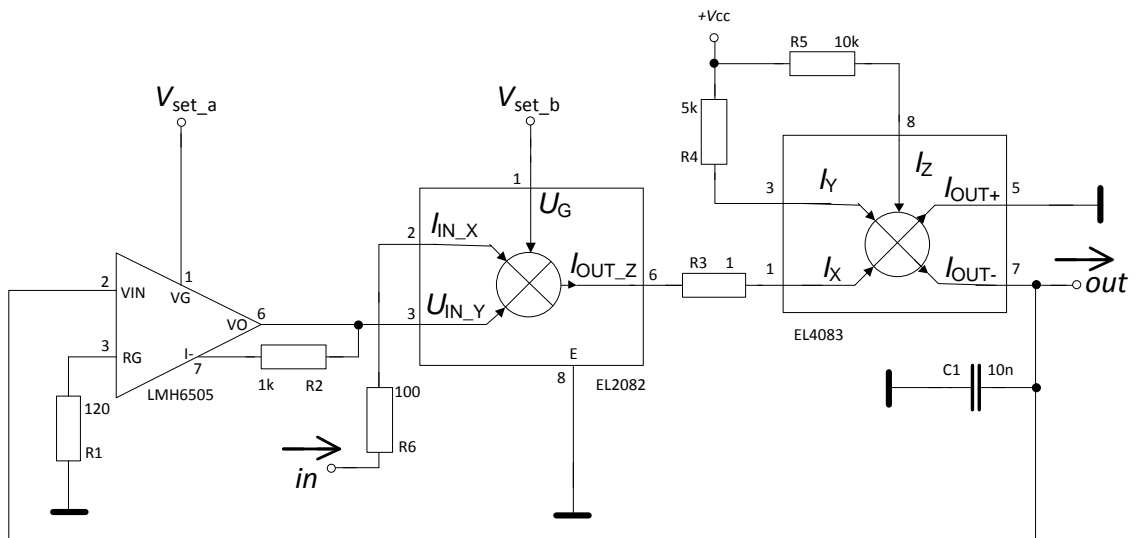


Obrázek 65 Schéma horní propusti s aktivním prvkem CVCC

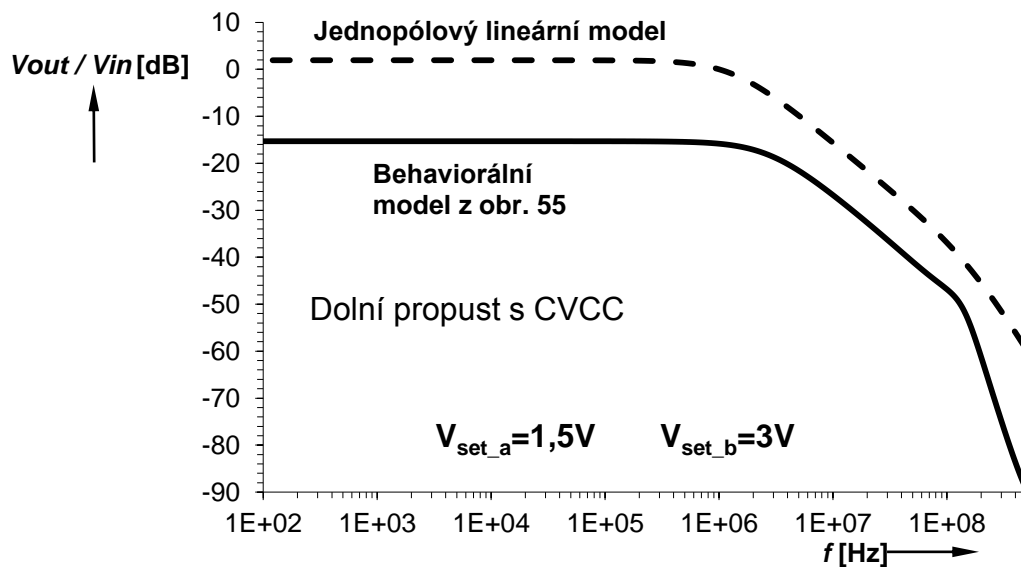


Obrázek 66 Kmitočtový přenos horní propusti s CVCC

6.5.3 Dolní propust s prvkem CVCC

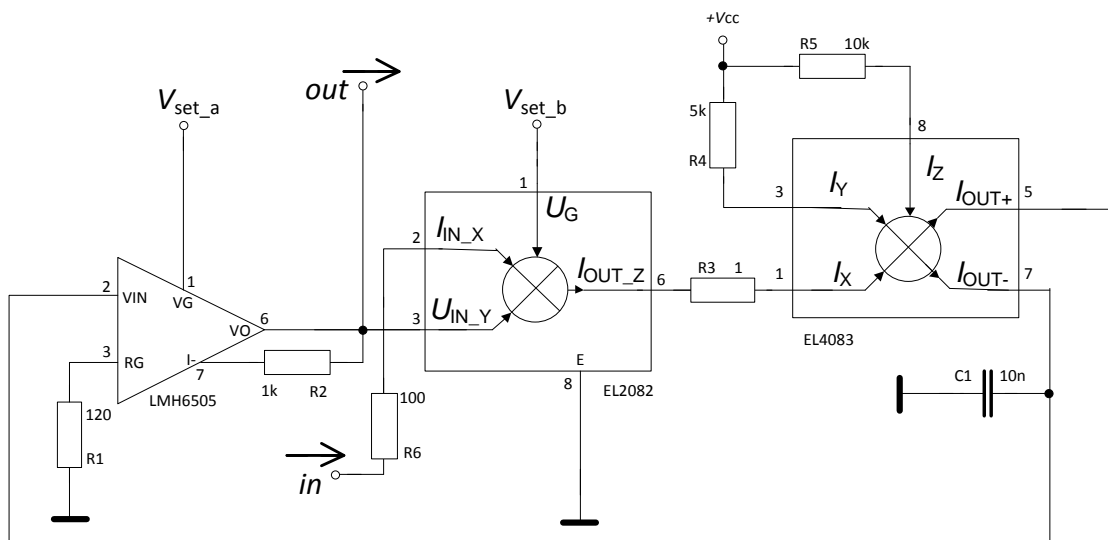


Obrázek 67 Schéma dolní propusti s aktivním prvkem CVCC

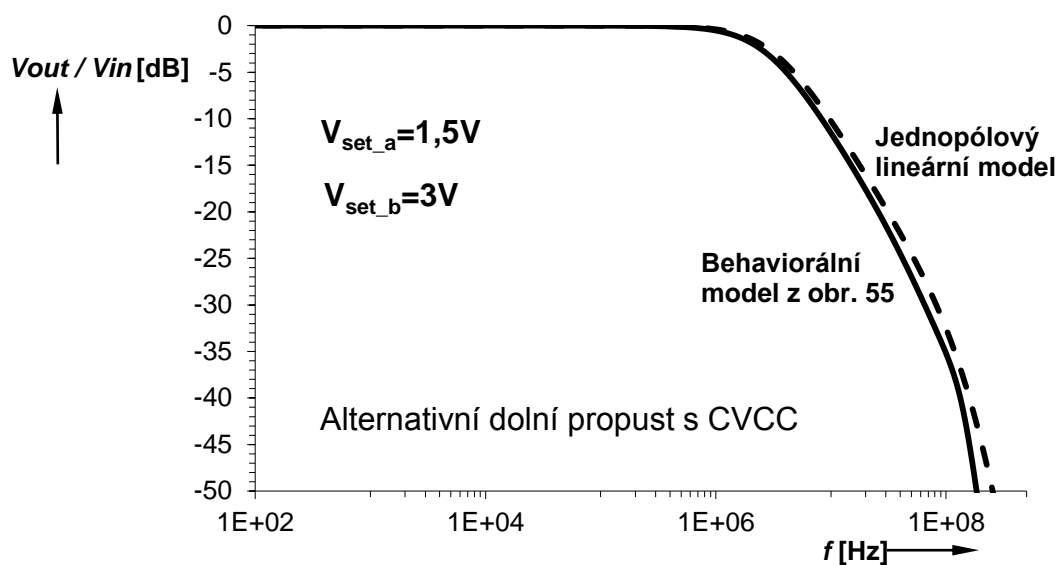


Obrázek 68 Kmitočtový přenos dolní propusti s CVCC

6.5.4 Alternativní dolní propust s prvkem CVCC



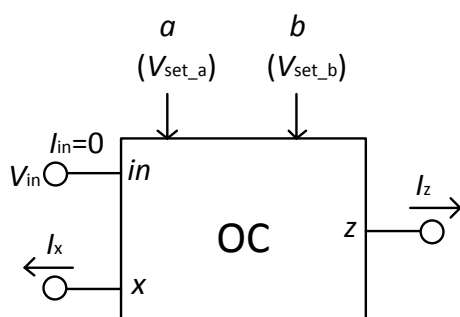
Obrázek 69 Schéma dolní propusti s aktivním prvkem CVCC



Obrázek 70 Kmitočtový přenos alternativní dolní propusti s CVCC

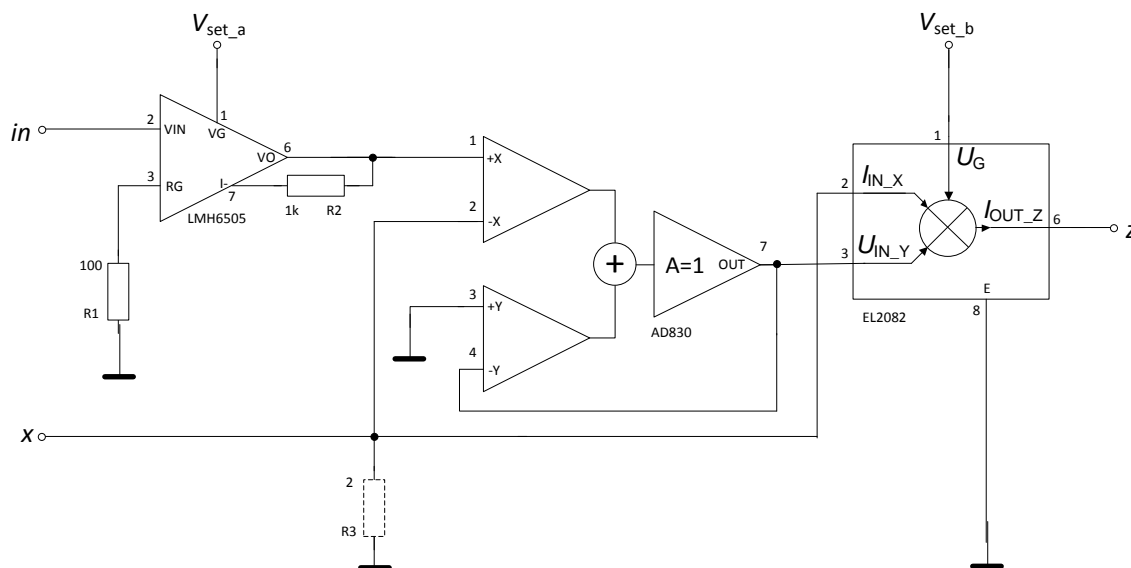
AKTIVNÍ PRVEK OC

Aktivní prvek OC (operational conveyor) [1] obsahuje napěťový vstup in , proudový vstup x , přičemž platí $i_z = v_{in} \cdot b$, $I_x = V_x / R_x$ a $V_x = (V_{in} \cdot a) / (a+1)$. Je tvořen nastavitelným zesilovačem LMH6505 s udanou šířkou pásma 100 MHz, diferenčním zesilovačem AD830 s udanou šířkou pásma 85 MHz a proudovým konvejorem EL2082 s udanou šířkou pásma 150 MHz. Napěťové zesílení a může být nastavováno změnou napětí V_{set_a} od 0,5 do 1,5V. Proudový zisk EL2082 může být nastaven pomocí V_{set_b} od 1 do 7V. Obvody LMH6505 a OPA860 jsou napájeny symetrickým napětím $\pm 5V$, obvody EL2082 a AD830 symetrickým napětím $\pm 15V$.



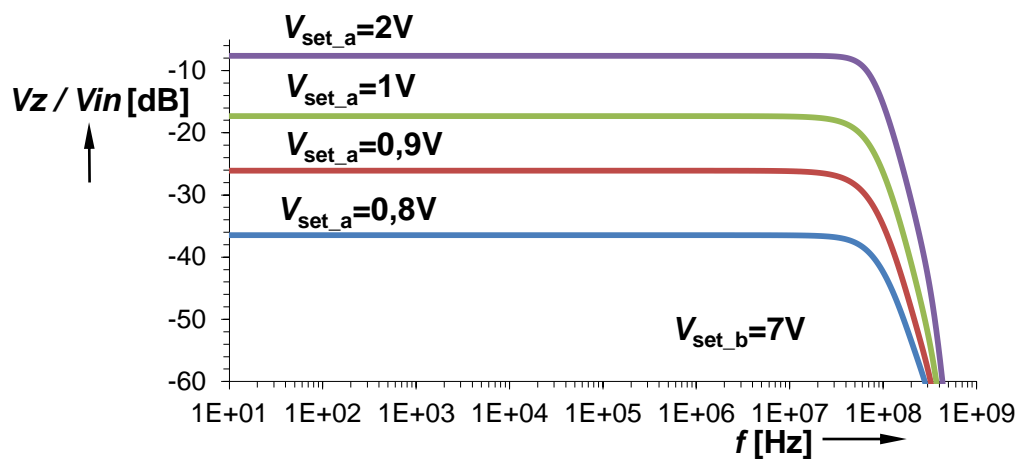
Obrázek 71 Symbol aktivního prvku OC

6.6 Schéma



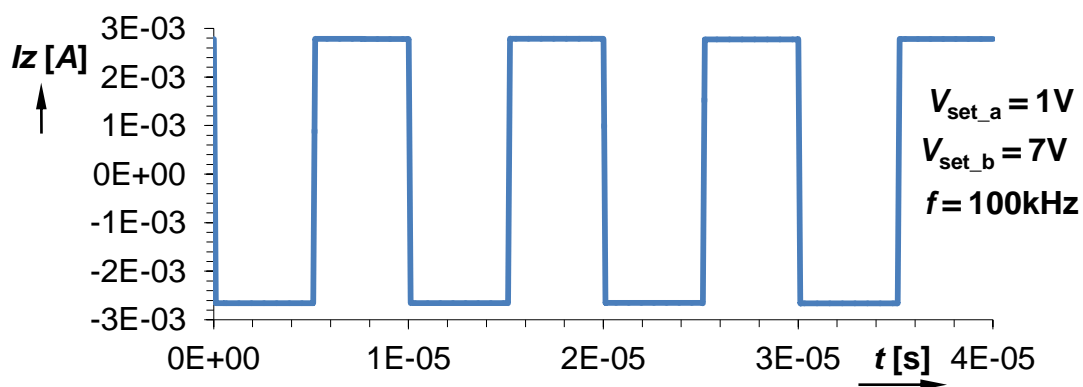
Obrázek 72 Schéma behaviorálního modelu prvku OC

Při simulaci bude proudový výstup „z“ zatížen rezistorem 1Ω a vývod x rezistorem 2 Ω.

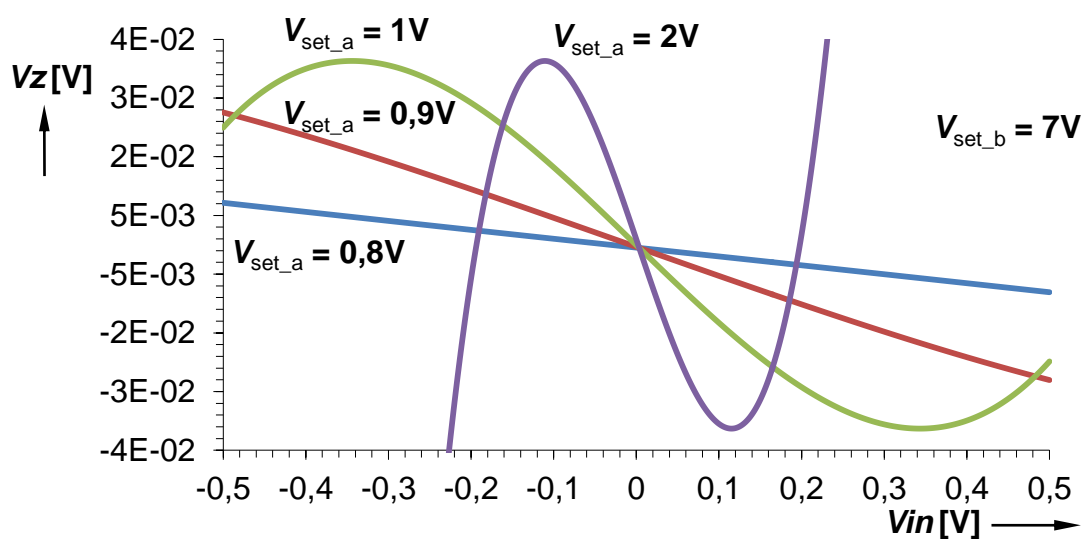


Obrázek 73 Kmitočtový přenos OC

Šířka pásma pro $V_{set_b}=7V$ a $V_{set_a}=1V$ je cca 60MHz pro pokles o 3 dB.



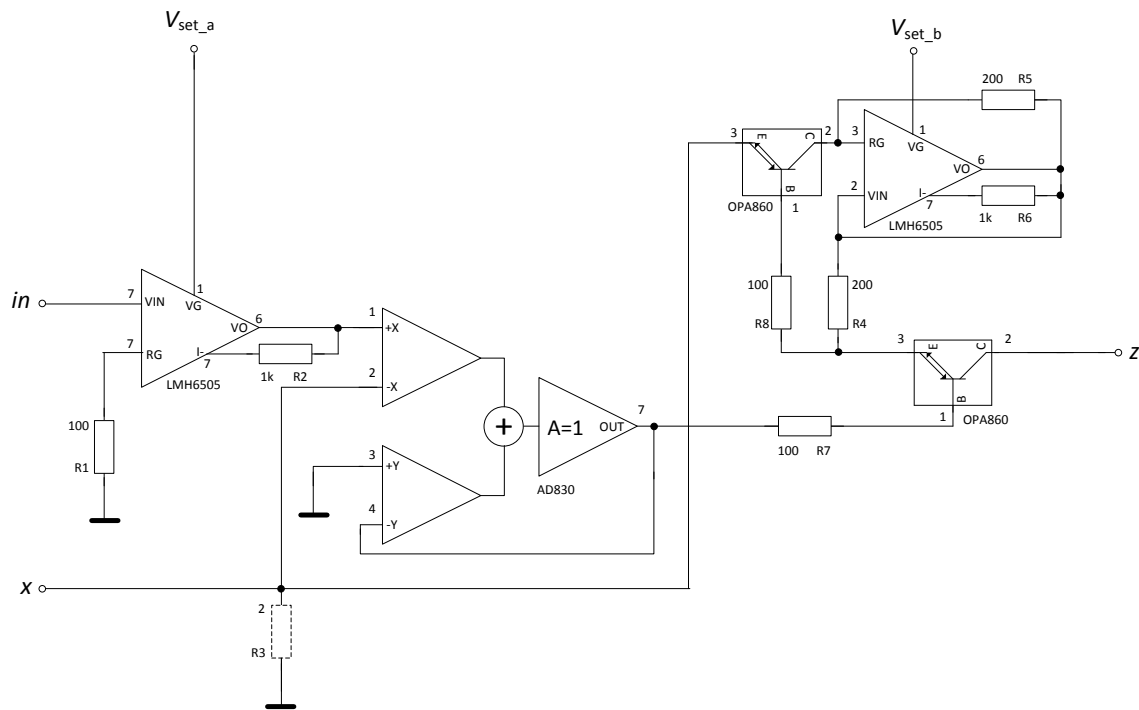
Obrázek 74 Přenos OC v časové oblasti



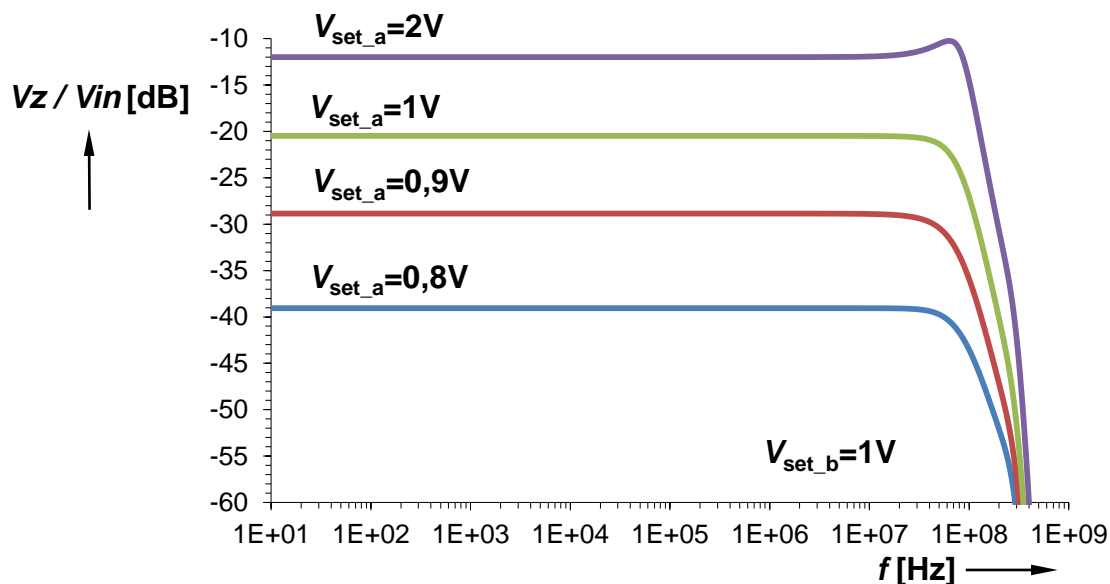
Obrázek 75 Stejnoseměrný přenos OC

6.7 Alternativní schéma prvku OC

V případě nedostupnosti EL2082 lze použít náhradní strukturu s LMH6505 a OPA860.

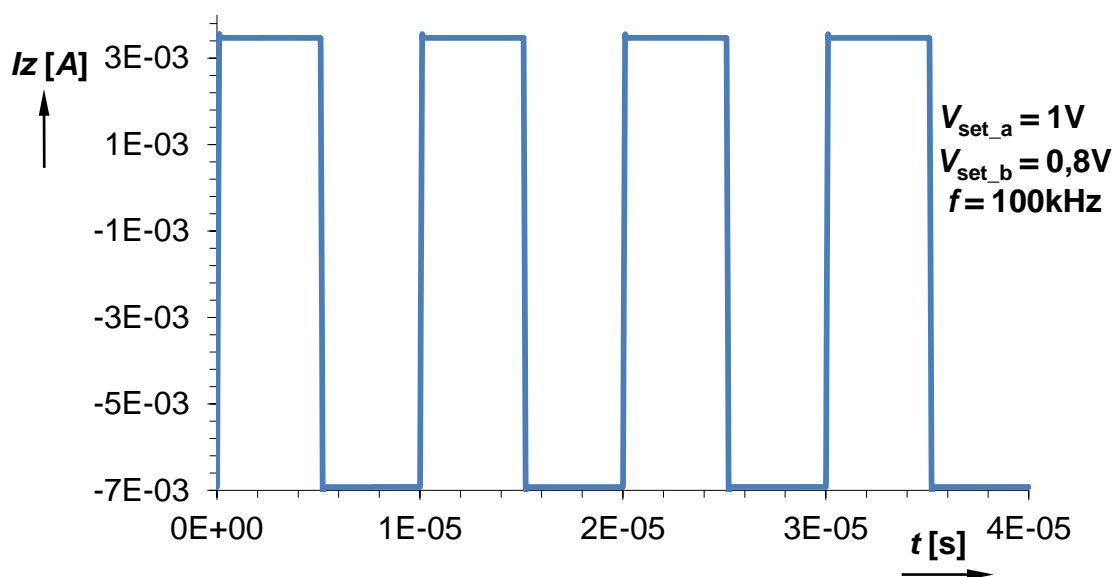


Obrázek 76 Alternativní schéma behaviorálního prvku OC

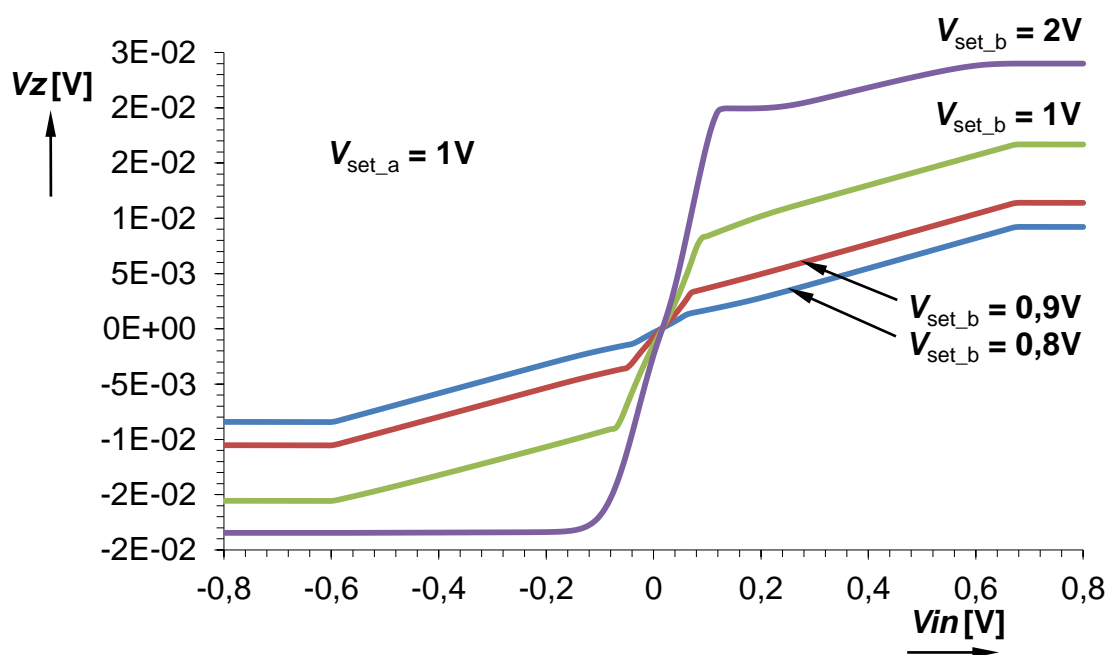


Obrázek 77 Kmitočtový přenos alternativní verze OC

Šířka pásma pro $V_{\text{set}_b}=1\text{V}$ a $V_{\text{set}_a}=1\text{V}$ je cca 72MHz pro pokles o 3 dB.

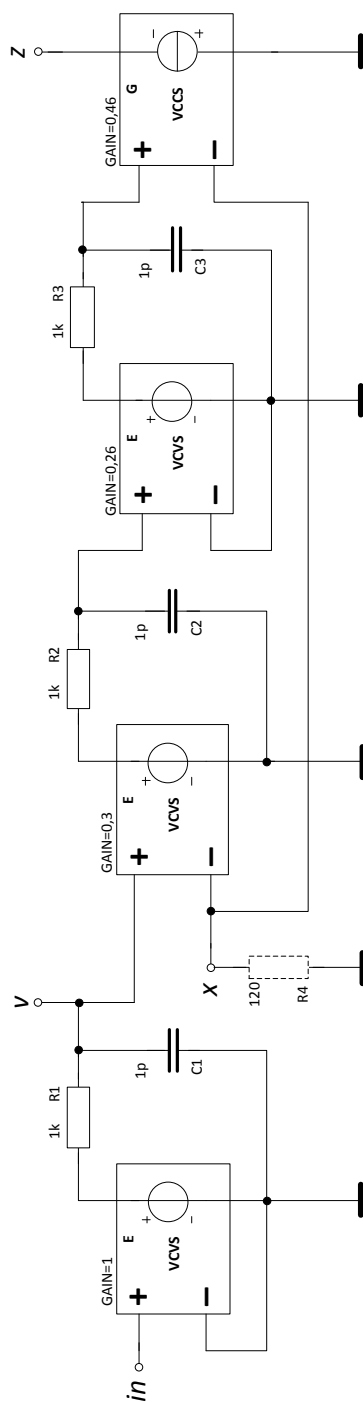


Obrázek 78 Přenos alternativní verze OC v časové oblasti

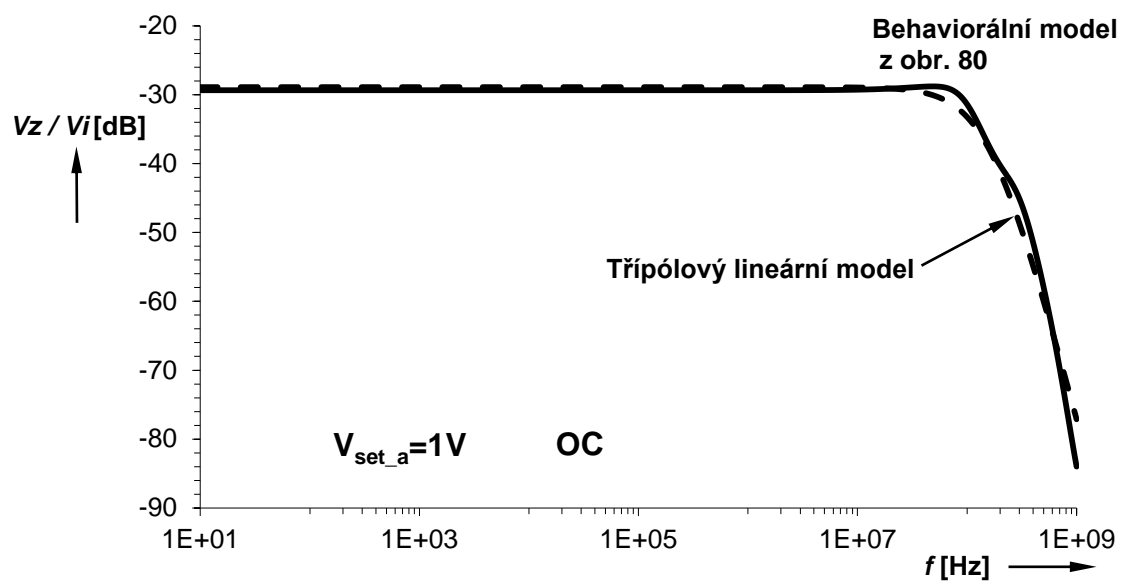


Obrázek 79 Stejnoseměrný přenos OC

6.8 Třípólový lineární model



Obrázek 80 Jednoduchý třípólový lineární model prvku OC

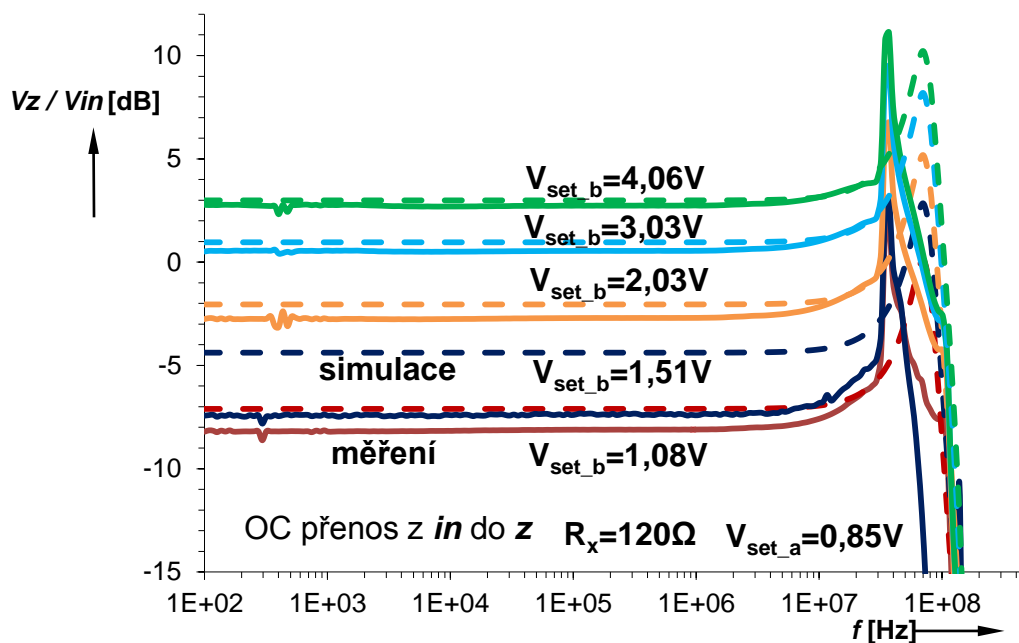


Obrázek 81 Porovnání behaviorálního modelu OC s třípólovým lineárním modelem

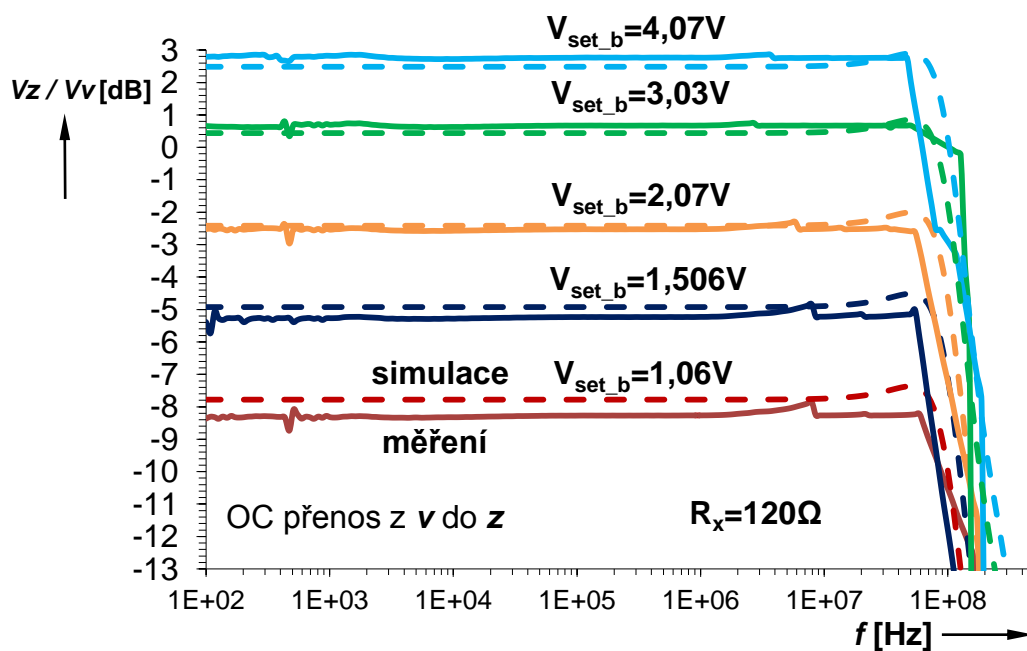
U třípólového lineárního modelu je patrné pomalejší klesání kmitočtové charakteristiky.

6.9 Měření prvku OC

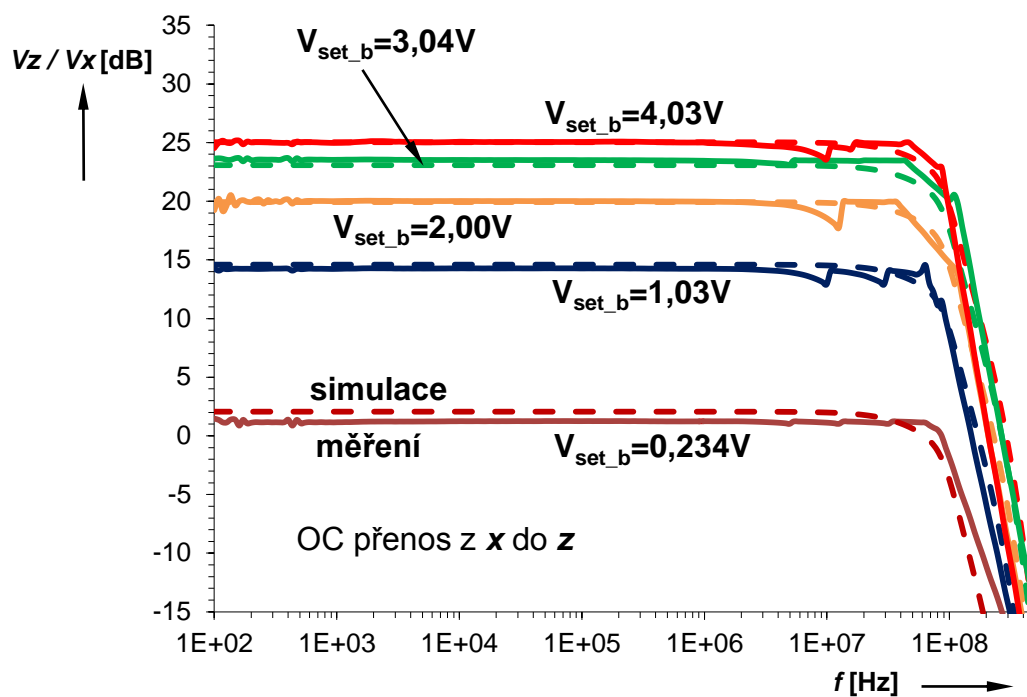
Měření v kmitočtové oblasti proběhlo pomocí obvodového analyzátoru Keysight / Agilent 4395A při nastavení source power -15dBm. Na vyšších kmitočtech jsou patrné nežádoucí výkyvy způsobené špatnou kompenzací měřicí soustavy. Výkyvy byly při zpracování naměřených dat dodatečně odstraněny.



Obrázek 82 Měření kmitočtového přenosu OC mezi vstupem in a výstupem z



Obrázek 83 Měření kmitočtového přenosu OC mezi vstupem v a výstupem z

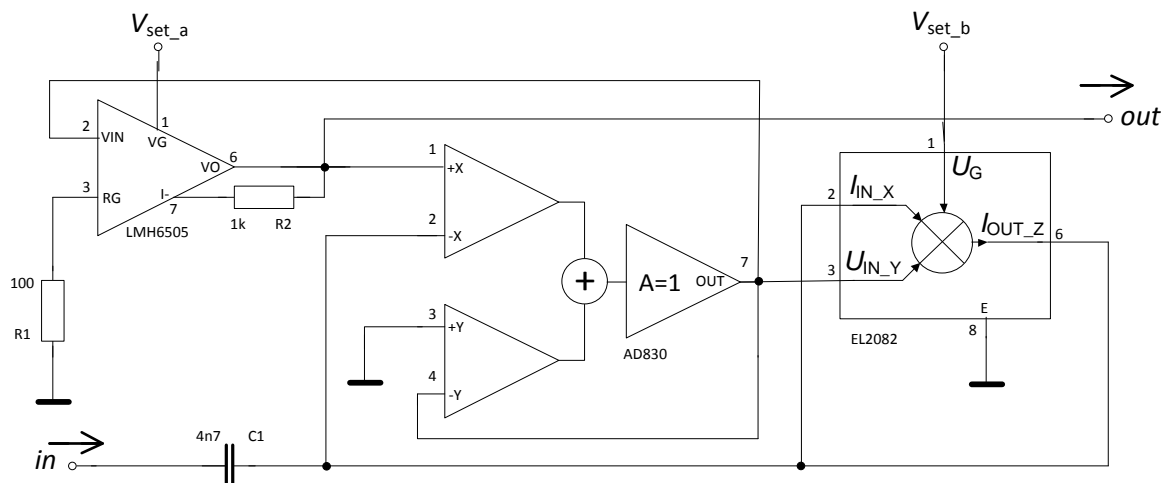


Obrázek 84 Měření kmitočtového přenosu OC mezi vstupem x a výstupem z

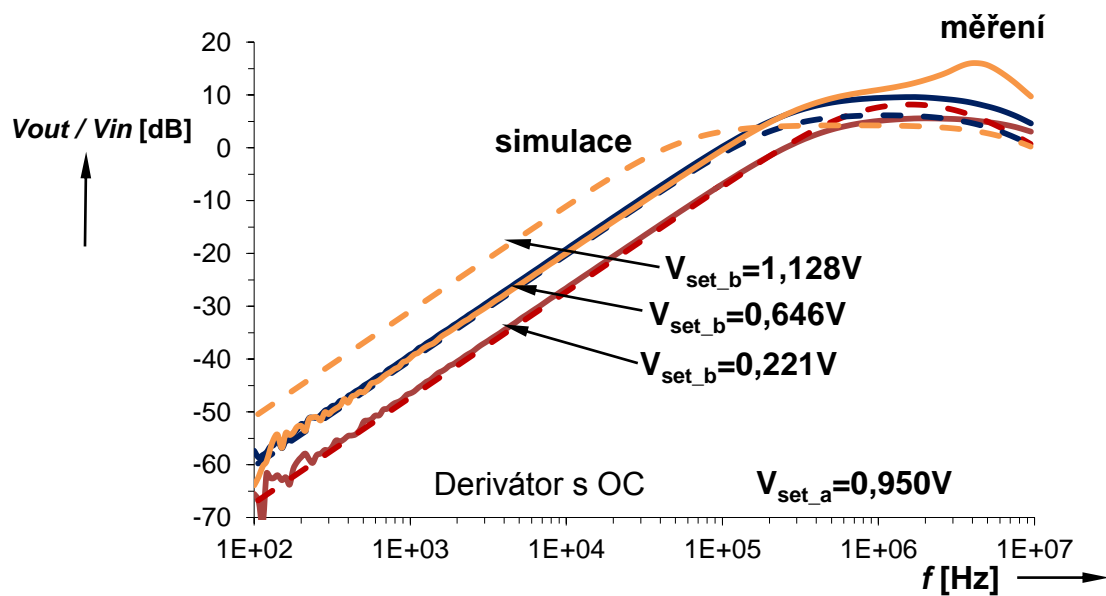
6.10 Aplikace prvku OC

6.10.1 Derivátor s prvkem OC

Měření v kmitočtové oblasti proběhlo pomocí obvodového analyzátoru Keysight / Agilent 4395A při nastavení source power -25dBm.



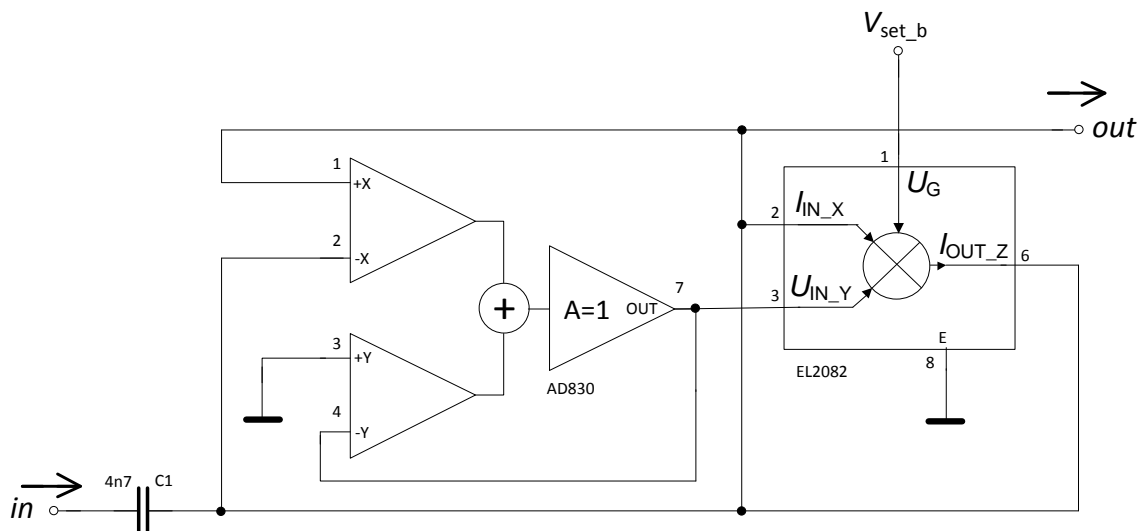
Obrázek 85 Schéma derivátoru s aktivním prvkem OC



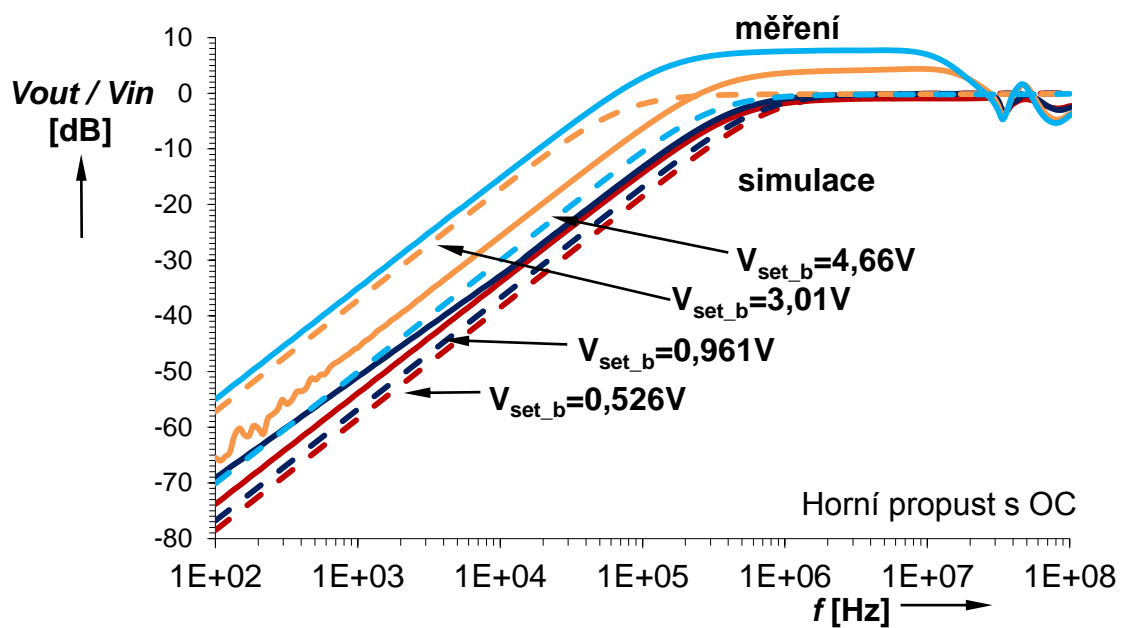
Obrázek 86 Měření kmitočtového přenosu derivátoru s OC

6.10.2 Horní propust s prvkem OC

Měření v kmitočtové oblasti proběhlo pomocí obvodového analyzátoru Keysight / Agilent 4395A při nastavení source power -25dBm.



Obrázek 87 Schéma horní propusti s aktivním prvkem OC



Obrázek 88 Měření kmitočtového přenosu horní propusti s OC

7 ZÁVĚR

Byly prověřeny vlastnosti simulovaných aktivních prvků CVDIBA, CVDOBA, CVCC a OC pomocí střídavé, stejnosměrné a časové analýzy. Pomocí stejnosměrné analýzy byl zjištěn maximální rozkmit vstupních signálů pro různé hodnoty parametrů. Byly vytvořeny jednoduché třípólové lineární modely a porovnány s behaviorálními modely. V další fázi byly tyto obvody realizovány na zkušebních DPS a proměřeny. Byla též simulací odzkoušena náhrada EL2082 pomocí speciální struktury složené ze dvou OPA860 a LMH6505. Teoretická šířka pásma prvku CVDIBA je 56 MHz, u prvku CVDOBA je to 260 MHz, u prvku CVCC je to 180 MHz a u prvku OC 60 MHz. Dále byly simulovány a proměřeny jednoduché aplikace aktivních prvků, jako horní propust, dolní propust, fázovací článek a rekonfigurovatelný filtr. Spotřeba každého aktivního prvku se pohybovala mezi 0,5W a 1W.

Se stávajícími DPS sice nebyly větší problémy, ale přesto by bylo vhodné ověřit činnost aktivních prvků na DPS s prokovenými otvory a tím pádem s dostatečně pevnými malými pájecími ploškami a tenkými spoji, které by vedly k menší parazitní kapacitě spojů. Ukázalo se, že je důležité provést kalibraci obvodového analyzátoru včetně měření DPS. Některé integrované obvody měly sklon k rozkmitání, což bylo potlačeno pomocí vhodných Boucherotových filtrů. Integrované obvody v SMD pouzdru SOIC-8 byly zapájeny na speciální redukce s blokovacími kondenzátory a umístěny do patič DIL8, viz příloha A.9. Z organizačních důvodů se nepodařilo vytvořit tranzistorovou strukturu (CMOS/BJT) vhodnou pro integraci.

8 LITERATURA

- BIOLEK, D., SENANI, R., BIOLKOVÁ, V., KOLKA, Z. *Active Elements for Analog Signal Processing: Classification, Review, and New Proposals*. Radioengineering. 2008, sv. 17, č. 4, p. 15-32.
- ŠOTNER, R., HERENCŠÁR, N., JERÁBEK, J., PROKOP, R., KARTCI, A., DOSTÁL, T., VRBA, K. *Z-Copy Controlled-Gain Voltage Differencing Current Conveyor: Advanced Possibilities in Direct Electronic Control of First- Order Filter*. Elektronika Ir Elektrotechnika. 2014, sv. 20, č. 6, str. 77-83.
- FERRI, G., GUERRINI, N.C. *Low-Voltage Low-Power CMOS Current Conveyors*. Cluwer Academic Publishers, 2003.
- TOUMAZOU, C., LIDGEY, F.J., HAIGH, D.G. *Analogue IC Design: The current mode approach*. IEE Circuits and Systems Series 2. Peter Peregrinus Ltd., 1990.
- SCHMID, H. *Why "Current Mode" does not guarantee good performance*. Analog Integrated Circuits and Signal Processing, 2003, sv. 35, str. 79-90.
- SMITH, K.C., SEDRA, A. *The current conveyor: a new circuit building block*. IEEE Proc. CAS, 1968, sv. 56, č. 3, str. 1368-1369.
- GIFT, S.J.G. *Hybrid current-conveyor-operational amplifier circuit*. Int. J. Electronics, 2001, sv. 88, č. 12, str. 1225-1235.
- GIFT, S. J. G. *An enhanced current-mode instrumentation amplifier*. IEEE Trans. on Instr. Meas., 2001, sv. 50, č. 1, str. 85-88.
- GIFT, S. J. G. *Balanced-output signal generator*. IEEE Trans. on Instr. Meas., 2006, sv. 55, č. 3, str. 835-838.
- Jerabek, J.; Sotner, R.; Kartci, A.; Herencsar, N.; Dostal, T.; Vrba, K., *Two behavioral models of the electronically controlled generalized current conveyor of the second generation*, in Telecommunications and Signal Processing (TSP), 2015 38th International Conference on , str.349-353, 9-11 July 2015
- Product data sheet LMH6505 [online]. [cit. 3. prosince 2015] Dostupné na [www:<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmh6505.pdf>](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmh6505.pdf)
- Product data sheet AD8138 [online]. [cit. 3. prosince 2015] Dostupné na [www:<http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8138.pdf>](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD8138.pdf)
- Product data sheet EL2082 [online]. [cit. 3. prosince 2015] Dostupné na [www:<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/el20/el2082.pdf>](http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/el20/el2082.pdf)
- Product data sheet EL4083 [online]. [cit. 3. prosince 2015] Dostupné na [www:<http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/el40/el4083.pdf>](http://www.intersil.com/content/dam/Intersil/documents/el40/el4083.pdf)
- Product data sheet OPA860 [online]. [cit. 3. prosince 2015] Dostupné na [www: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa860.pdf>](http://www.ti.com/lit/ds/symlink/opa860.pdf)
- Product data sheet AD830 [online]. [cit. 3. prosince 2015] Dostupné na [www: <http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD830.pdf>](http://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD830.pdf)

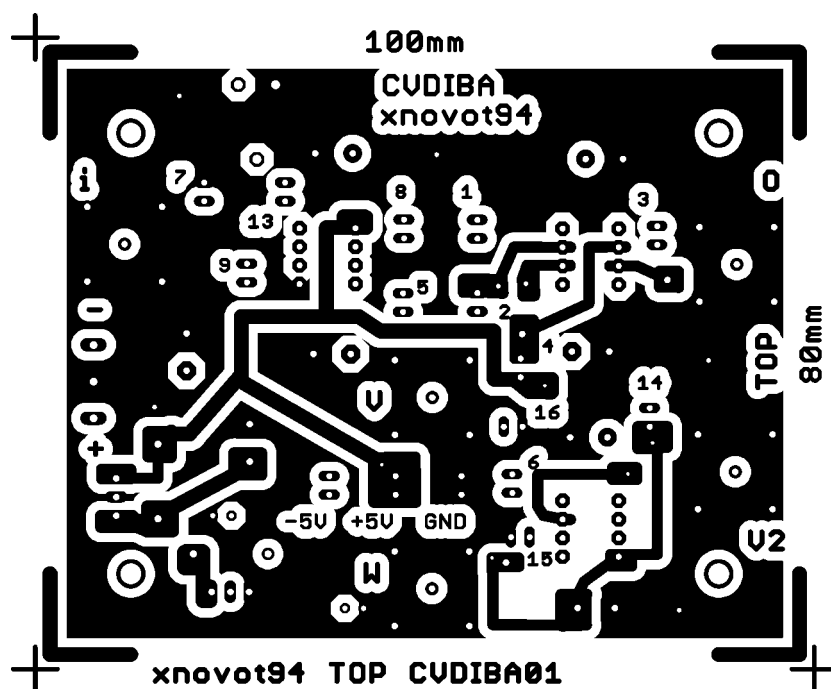
9 SEZNAM SYMBOLŮ, VELIČIN A ZKRATEK

f	Frekvence
CVDIBA	Current voltage differential input buffered amplifier
i	Napětový vstup
$v1$	Napětový vstup
$v2$	Napětový výstup
w	Napětový výstup
a	Napětové zesílení
b	Proudové zesílení
o	Proudový výstup
I_{x1}	Proudový výstup
I_{x2}	Proudový výstup
X	Proudový výstup
V_{set_a}	Řídicí napětí napětového zesílení
V_{set_b}	Řídicí napětí proudového zesílení
VCVS	Voltage controlled voltage source
VCCS	Voltage controlled current source
CVDOBA	Current voltage differencing output buffered amplifier
CVCC	Current voltage current conveyor
dB	Decibely
R_x	Zatěžovací rezistor vývodu x
OC	Operational conveyor
Ω	Ohm
DPS	Deska plošných spojů
S $S = 1/\Omega$	Siemens, jednotka elektrické vodivosti či transkonduktance. Platí
g_m	Transkonduktance, platí $g_m = I_{OUT}/V_{IN}$

A.1 Obvodové zapojení prvku CVDIBA

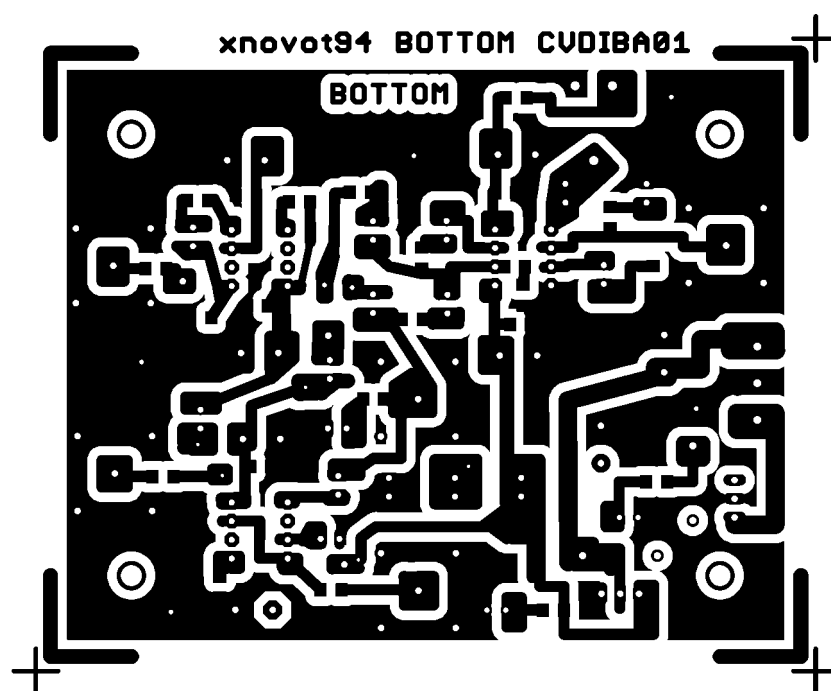


A.2 Deska plošného spoje prvku CVDIBA – top (strana součástek)



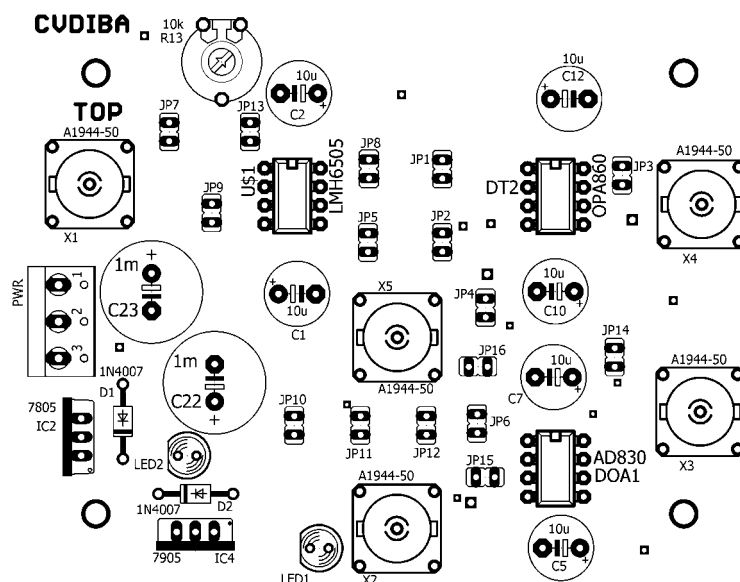
Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.3 Deska plošného spoje prvku CVDIBA – bottom (strana spojů)



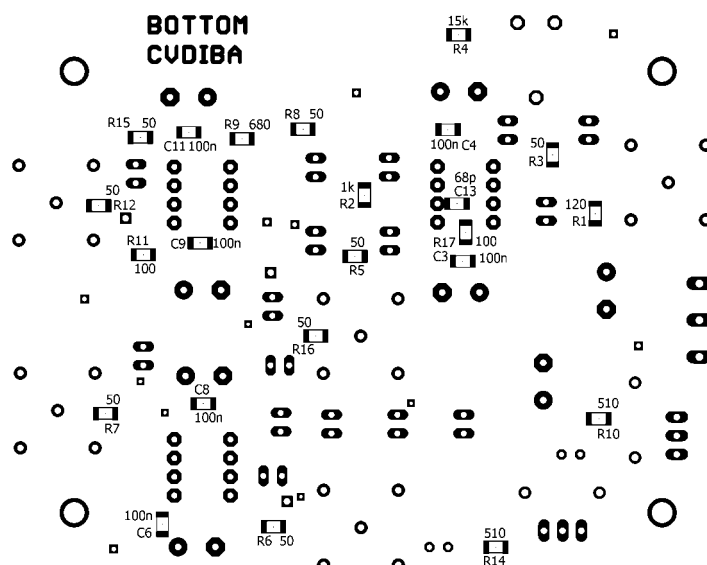
Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.4 Osazovací pláněk prvku CVDIBA – top (strana součástek)



Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.5 Osazovací pláněk prvku CVDIBA – bottom (strana spojů)



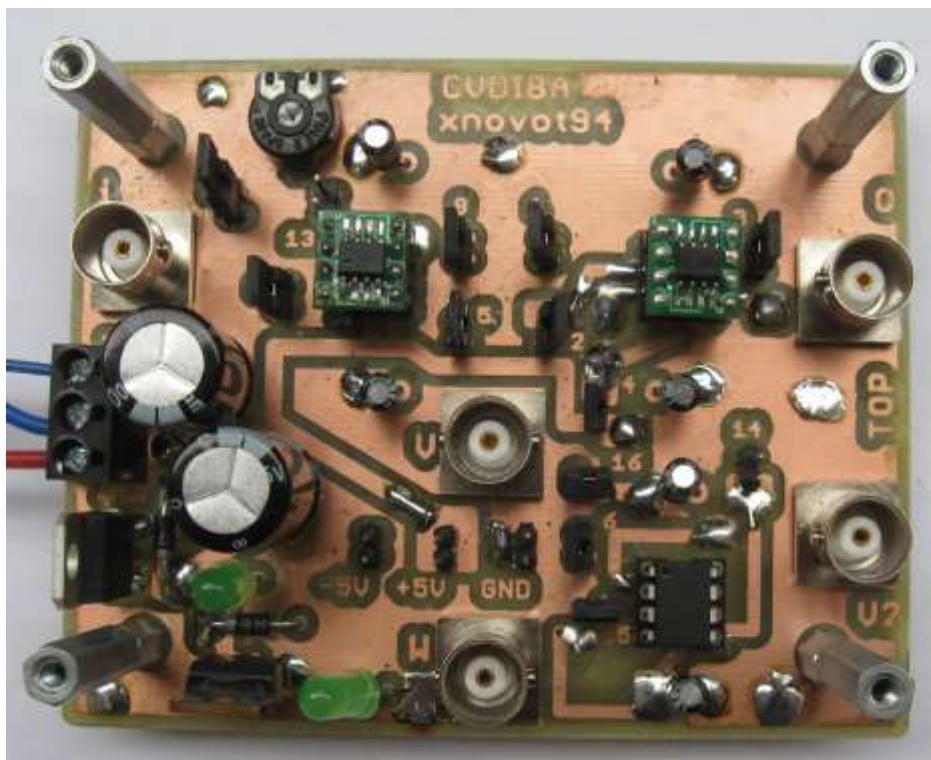
Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.6 Seznam součástek prvku CVDIBA

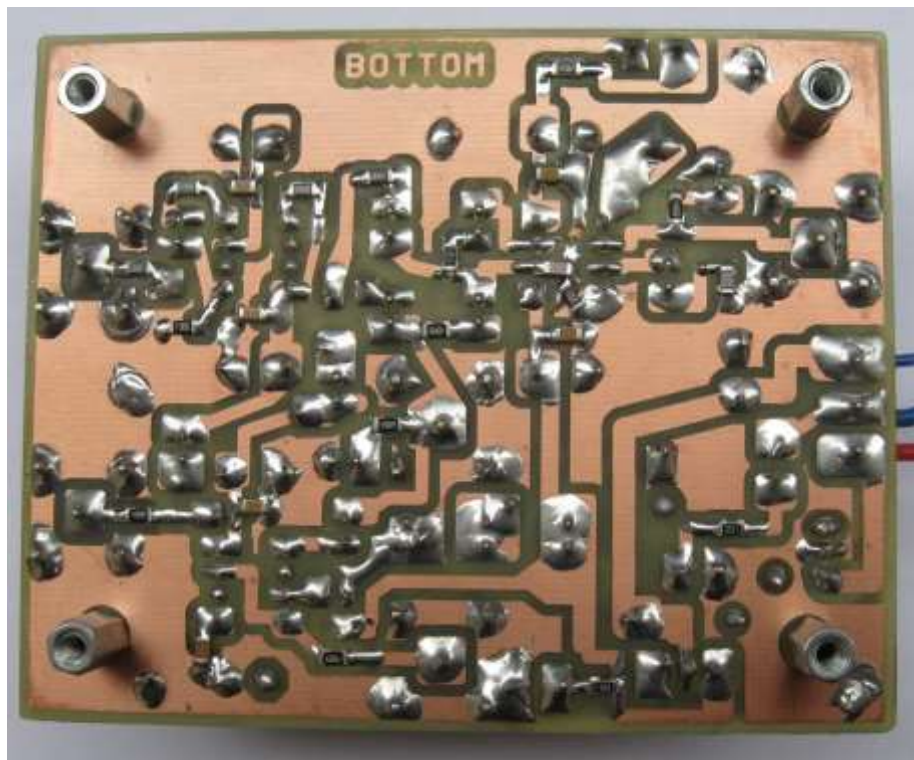
Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	10u	E5-8,5	elektrolytický kondenzátor
C2	10u	E5-8,5	elektrolytický kondenzátor
C3	100n	C1206	keramický kondenzátor
C4	100n	C1206	keramický kondenzátor
C5	10u	E5-8,5	elektrolytický kondenzátor
C6	100n	C1206	keramický kondenzátor
C7	10u	E5-8,5	elektrolytický kondenzátor
C8	100n	C1206	keramický kondenzátor
C9	100n	C1206	keramický kondenzátor
C10	10u	E5-8,5	elektrolytický kondenzátor
C11	100n	C1206	keramický kondenzátor
C12	10u	E5-8,5	elektrolytický kondenzátor
C13	68p	C1206	keramický kondenzátor
C22	1m	E5-13	elektrolytický kondenzátor
C23	1m	E5-13	elektrolytický kondenzátor
D1	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
D2	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
DOA1	AD830	DIL8	diferenční zesilovač
DT2	OPA860	SOIC8	diamantový tranzistor
IC2	7805	TO220	stabilizátor +5V
IC4	7905	TO220	stabilizátor -5V
JP1	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP2	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP3	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP4	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP5	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP6	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP7	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP8	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP9	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP10	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP11	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP12	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP13	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP14	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP15	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP16	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
LED1	zelená	průměr 5mm	zelená LED
LED2	zelená	průměr 5mm	zelená LED
PWR	W237-103	con-wago-500	svorkovnice trojnásobná
R1	120	R1206	rezistor
R2	1k	R1206	rezistor
R3	50	R1206	rezistor

R4	15k	R1206	rezistor
R5	50	R1206	rezistor
R6	50	R1206	rezistor
R7	50	R1206	rezistor
R8	50	R1206	rezistor
R9	680	R1206	rezistor
R10	510	R1206	rezistor
R11	100	R1206	rezistor
R12	50	R1206	rezistor
R13	10k	LI10	odporový trimr
R14	510	R1206	rezistor
R15	50	R1206	rezistor
R16	50	R1206	rezistor
R17	100	R1206	rezistor
U\$1	LMH6505	SOIC8	nastavitelný zesilovač
X1	A1944-50	A1944	BNC konektor
X2	A1944-50	A1944	BNC konektor
X3	A1944-50	A1944	BNC konektor
X4	A1944-50	A1944	BNC konektor
X5	A1944-50	A1944	BNC konektor
			precizní patice DIL8 3 ks
			redukce ze SOIC8 na DIL8 3ks

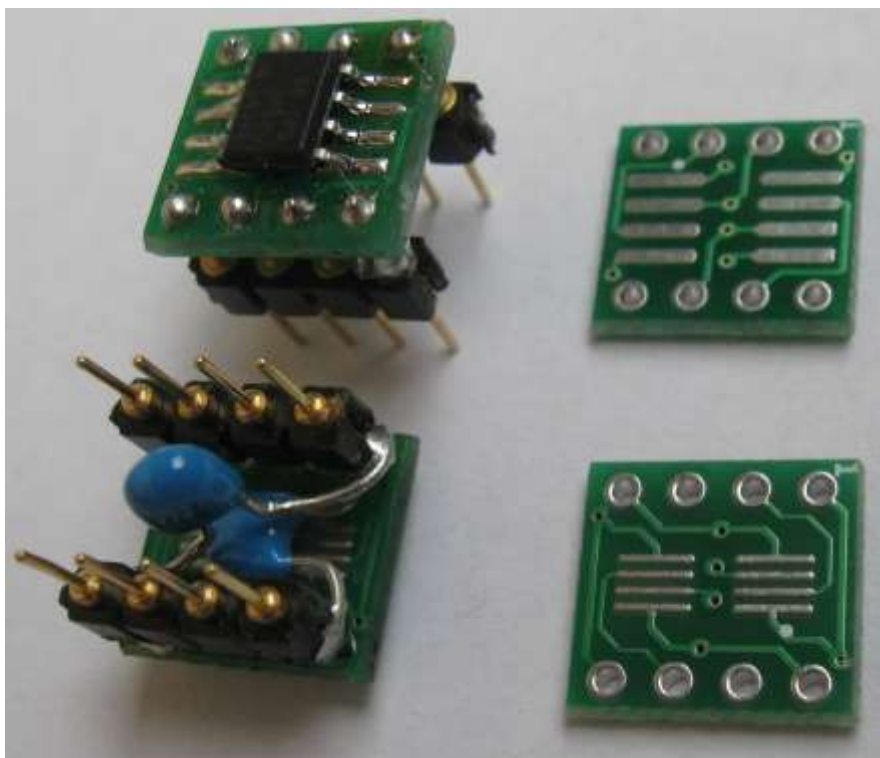
A.7 Osazená DPS prvku CVDIBA – top (strana součástek)



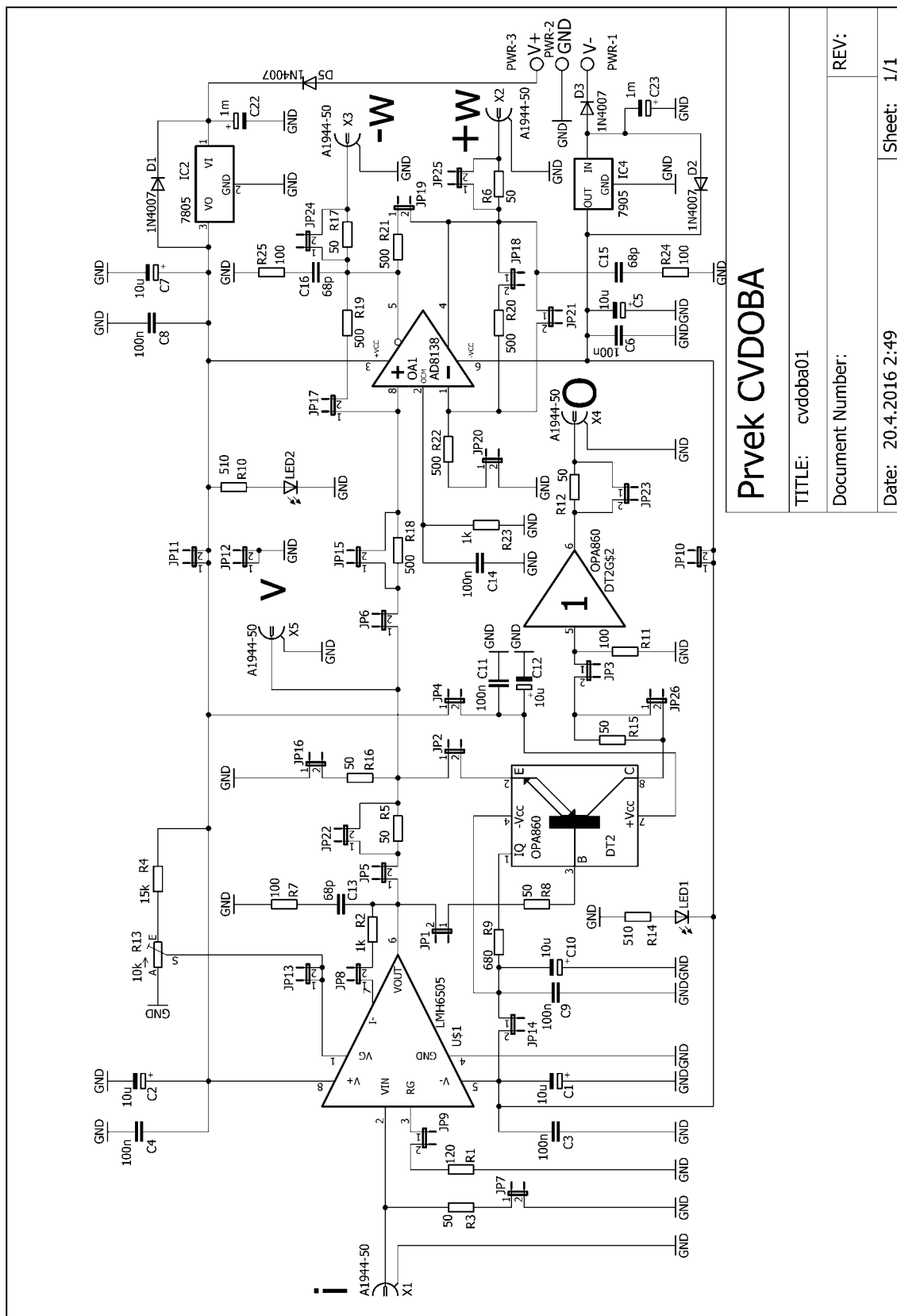
A.8 Osazená DPS prvku CVDIBA – bottom (strana spojů)



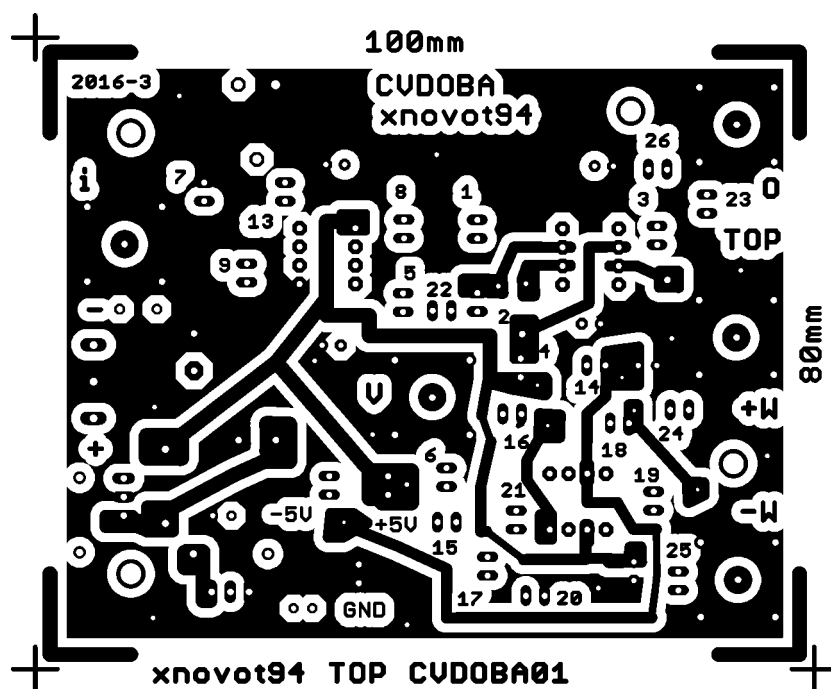
A.9 Redukce z pouzdra SOIC8 na DIP8



A.10 Obvodové zapojení prvku CVDOBA

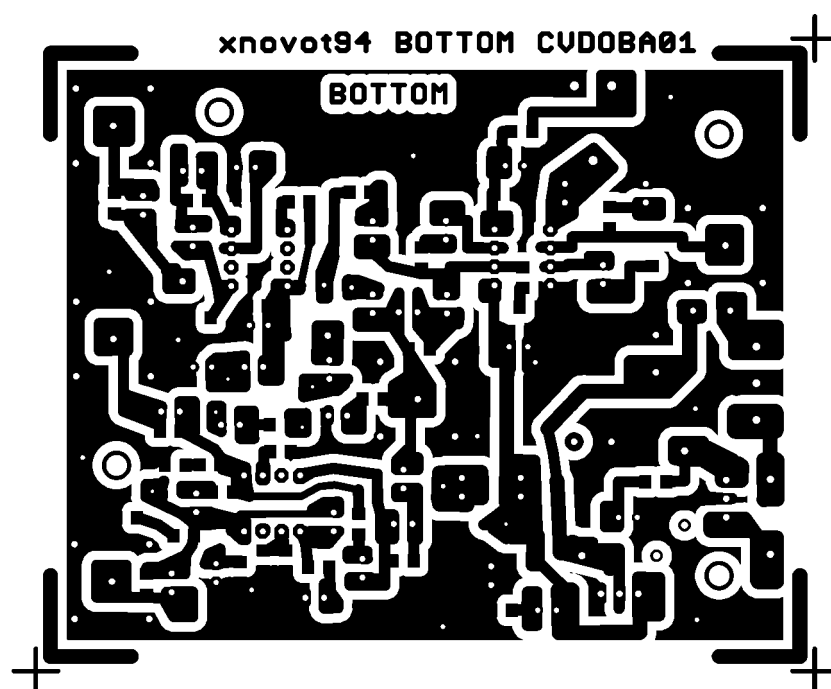


A.11 Deska plošného spoje prvku CVDOBA – top (strana součástek)



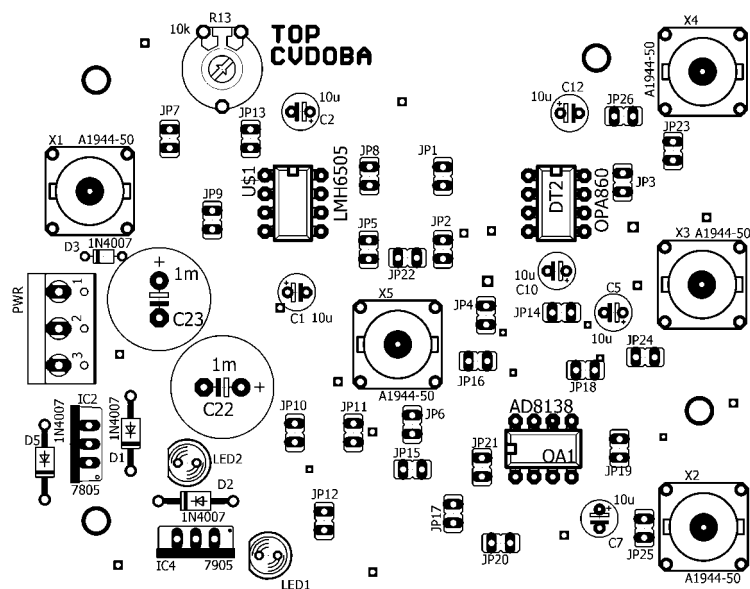
Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.12 Deska plošného spoje prvku CVDOBA – bottom (strana spojů)



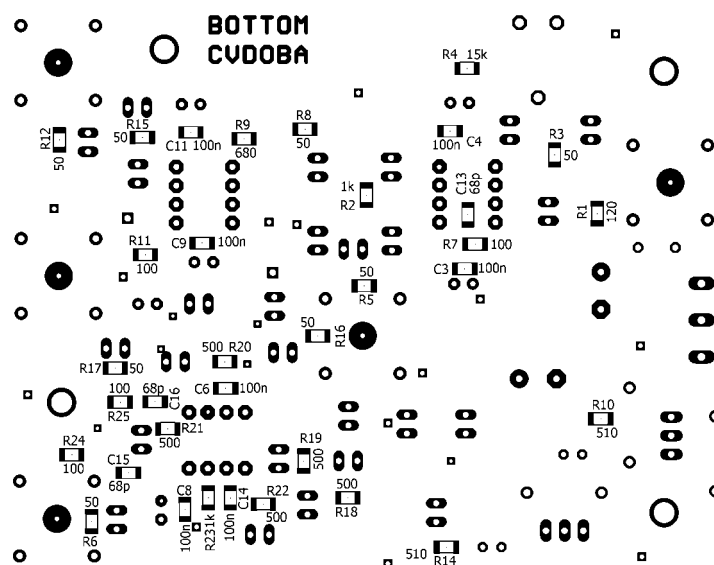
Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.13 Osazovací pláněk prvku CVDOBA – top (strana součástek)



Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.14 Osazovací pláněk prvku CVDOBA – bottom (strana spojů)



Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.15 Seznam součástek prvku CVDoba

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	10u	E2,5-5	elektrolytický kondenzátor
C2	10u	E2,5-5	elektrolytický kondenzátor
C3	100n	C1206	keramický kondenzátor
C4	100n	C1206	keramický kondenzátor
C5	10u	E2,5-5	elektrolytický kondenzátor
C6	100n	C1206	keramický kondenzátor
C7	10u	E2,5-5	elektrolytický kondenzátor
C8	100n	C1206	keramický kondenzátor
C9	100n	C1206	keramický kondenzátor
C10	10u	E2,5-5	elektrolytický kondenzátor
C11	100n	C1206	keramický kondenzátor
C12	10u	E2,5-5	elektrolytický kondenzátor
C13	68p	C1206	keramický kondenzátor
C14	100n	C1206	keramický kondenzátor
C15	68p	C1206	keramický kondenzátor
C16	68p	C1206	keramický kondenzátor
C22	1m	E5-13	elektrolytický kondenzátor
C23	1m	E5-13	elektrolytický kondenzátor
D1	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
D2	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
D3	1N4007	D-5	univerzální dioda
D5	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
DT2	OPA860	SOIC8	diamantový tranzistor
IC2	7805	TO220	stabilizátor +5V
IC4	7905	TO220	stabilizátor -5V
JP1	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP2	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP3	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP4	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP5	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP6	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP7	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP8	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP9	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP10	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP11	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP12	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP13	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP14	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP15	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP16	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper

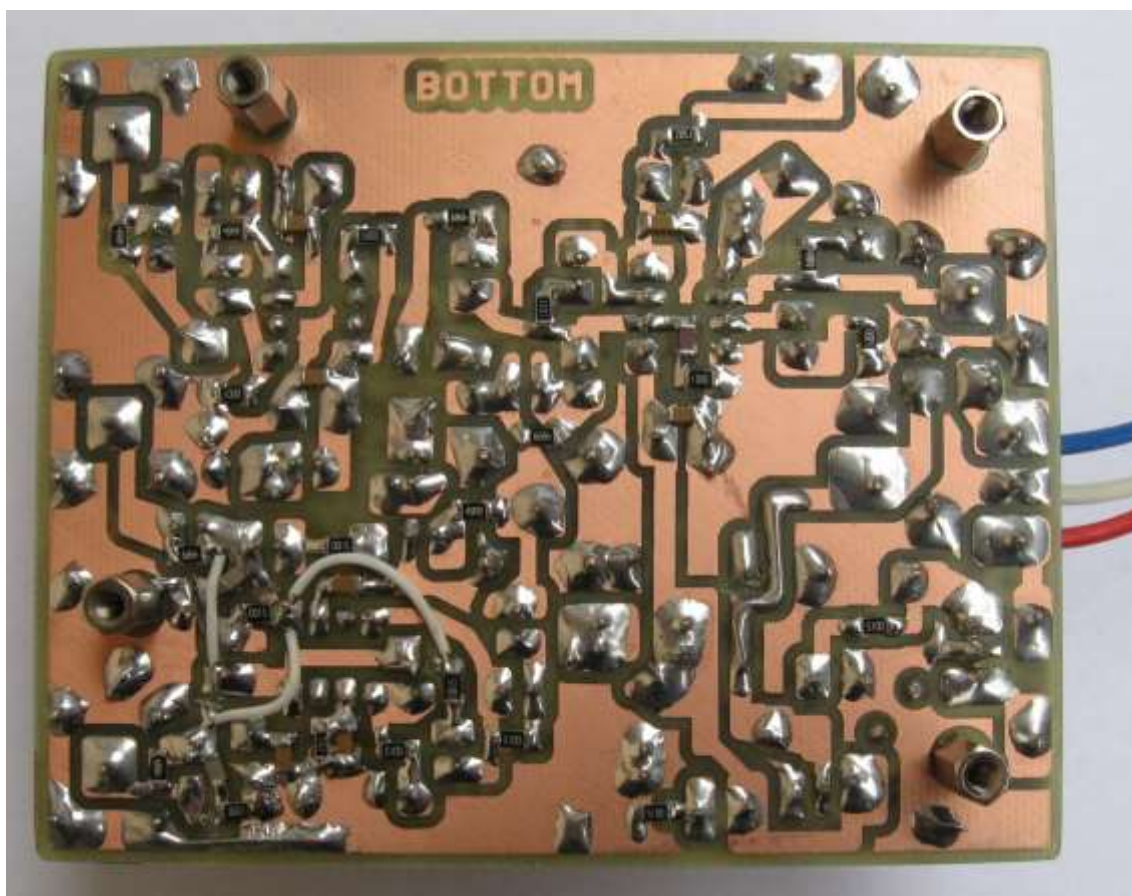
JP17	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP18	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP19	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP20	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP21	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP22	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP23	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP24	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP25	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP26	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
LED1	zelená	průměr 5mm	zelená LED
LED2	zelená	průměr 5mm	zelená LED
OA1	AD8138	SOIC8	diferenciální budič
PWR	W237-103	con-wago-500	svorkovnice trojnásobná
R1	120	R1206	rezistor
R2	1k	R1206	rezistor
R3	50	R1206	rezistor
R4	15k	R1206	rezistor
R5	50	R1206	rezistor
R6	50	R1206	rezistor
R7	100	R1206	rezistor
R8	50	R1206	rezistor
R9	680	R1206	rezistor
R10	510	R1206	rezistor
R11	100	R1206	rezistor
R12	50	R1206	rezistor
R13	10k	LI10	odporový trimr
R14	510	R1206	rezistor
R15	50	R1206	rezistor
R16	50	R1206	rezistor
R17	50	R1206	rezistor
R18	500	R1206	rezistor
R19	500	R1206	rezistor
R20	500	R1206	rezistor
R21	500	R1206	rezistor
R22	500	R1206	rezistor
R23	1k	R1206	rezistor
R24	100	R1206	rezistor
R25	100	R1206	rezistor
U\$1	LMH6505	SOIC8	nastavitelný zesilovač
X1	A1944-50	A1944	BNC konektor
X2	A1944-50	A1944	BNC konektor
X3	A1944-50	A1944	BNC konektor
X4	A1944-50	A1944	BNC konektor
X5	A1944-50	A1944	BNC konektor

			precizní patice DIL8 3 ks
			redukce ze SOIC8 na DIL8 3ks

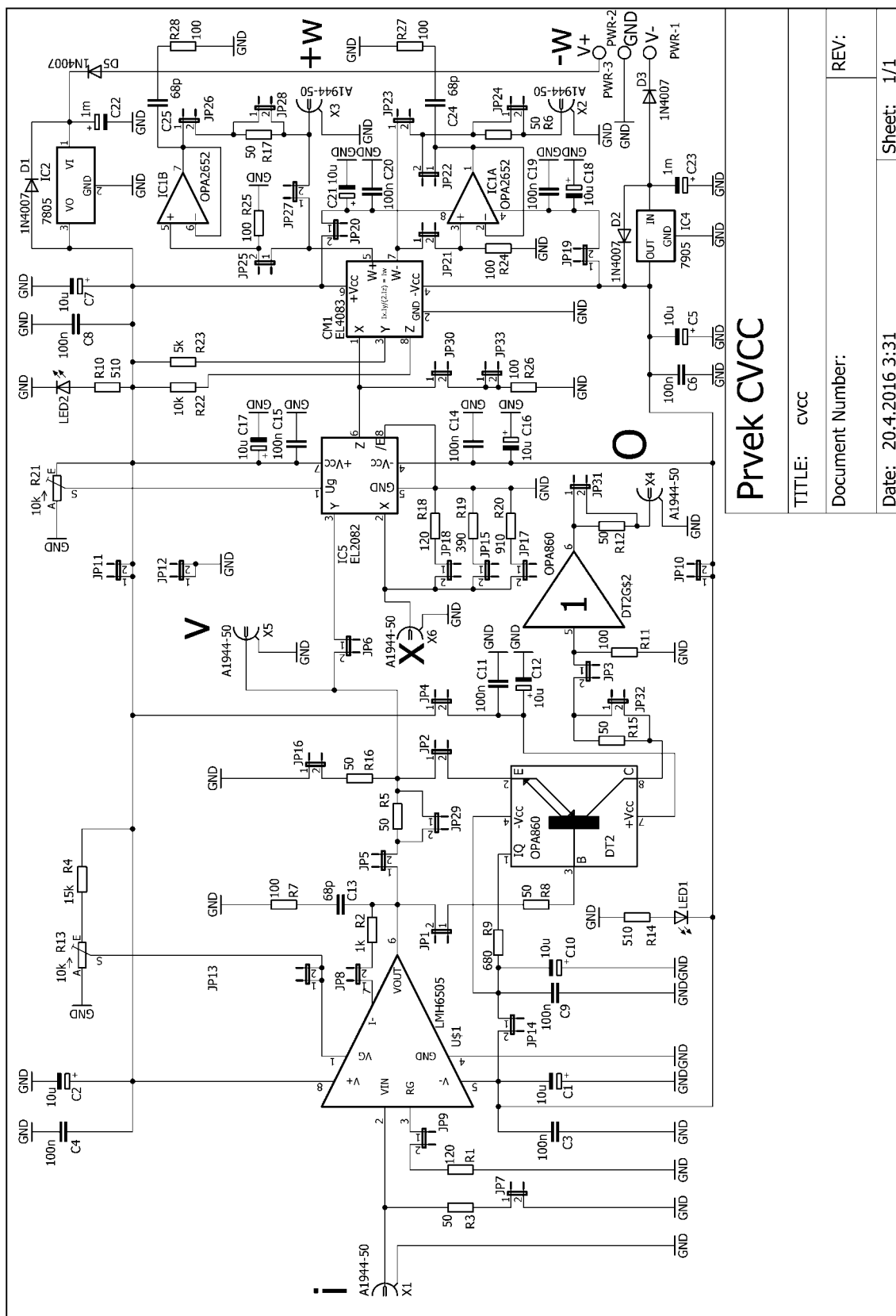
A.16 Osazená DPS prvku CVDOBA – top (strana součástek)



A.17 Osazená DPS prvku CVDOBA – bottom (strana spojů)



A.18 Obvodové zapojení prvku CVCC



Prvek CVCC

TITLE: CVCC

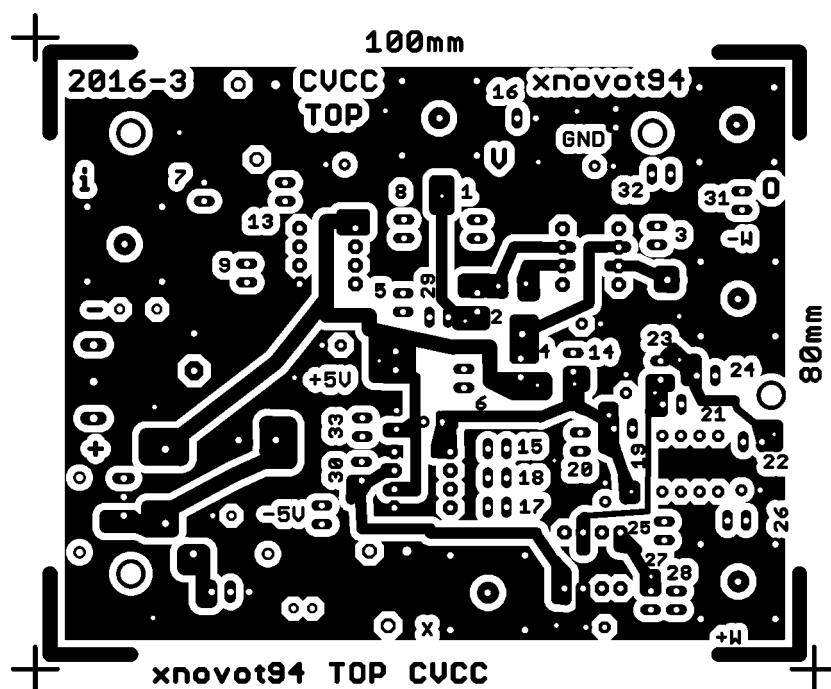
Document Number:

REV:

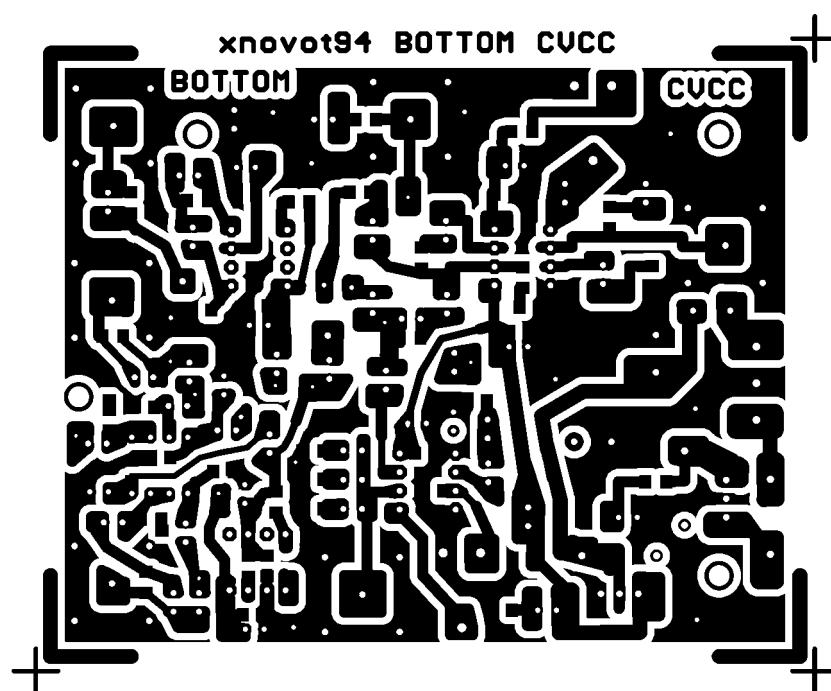
Date: 20.4.2016 3:31

Sheet: 1/1

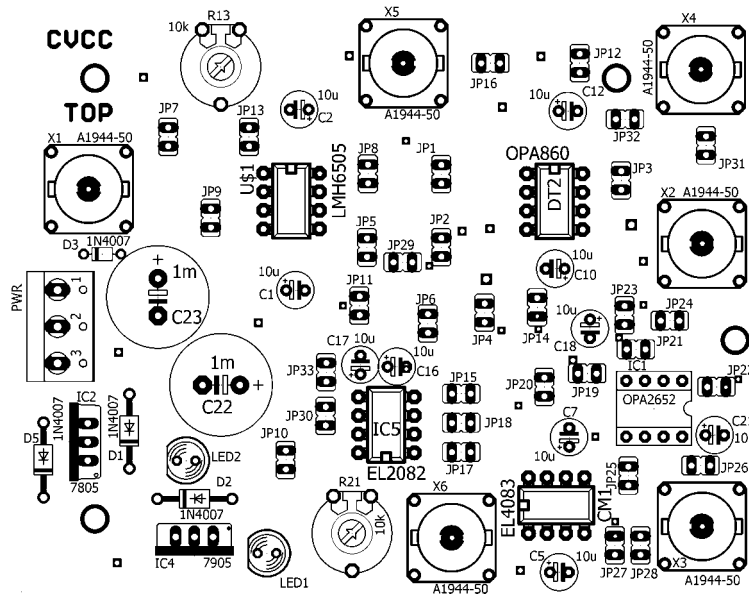
A.19 Deska plošného spoje prvku CVCC – top (strana součástek)

Rozměr desky 100×80 [mm]

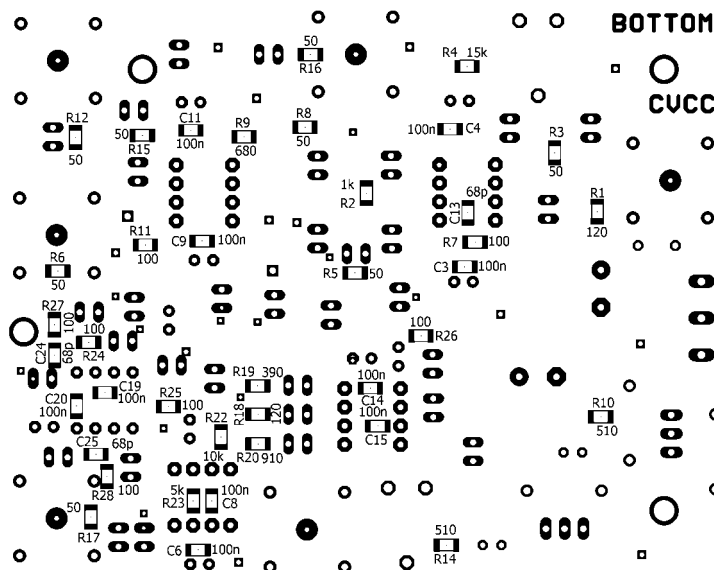
A.20 Deska plošného spoje prvku CVCC – bottom (strana spojů)

Rozměr desky 100×80 [mm]

A.21 Osazovací plánec prvku CVCC – top (strana součástí)

Rozměr desky 100×80 [mm]

A.22 Osazovací plánec prvku CVCC – bottom (strana spojů)

Rozměr desky 100×80 [mm]

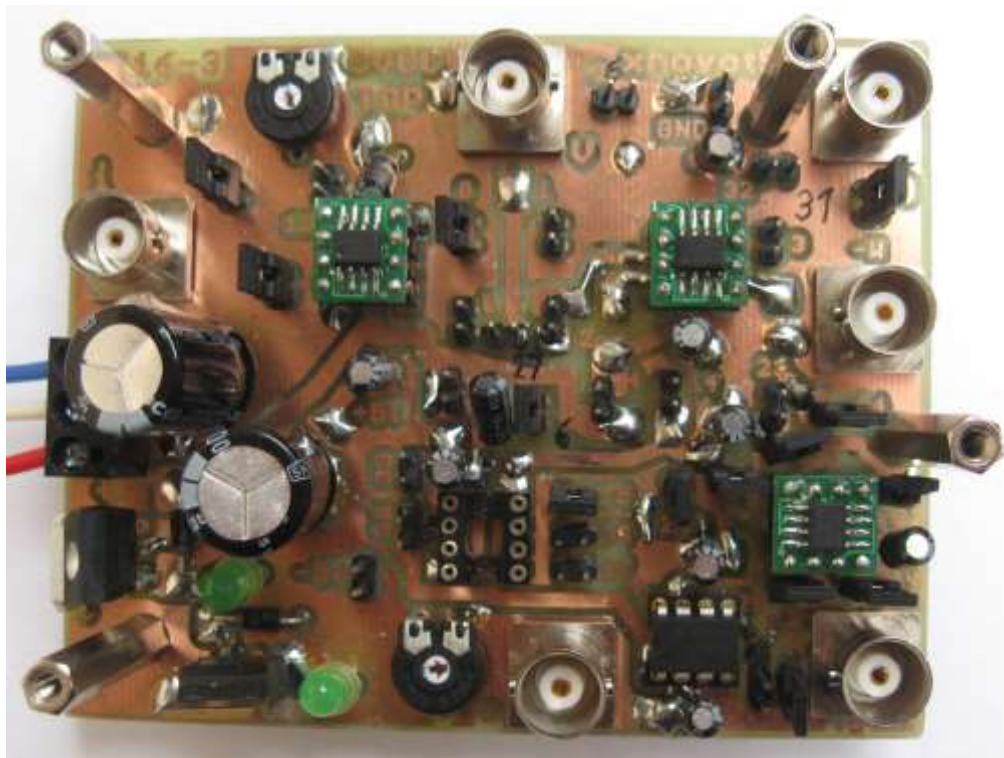
A.23 Seznam součástek prvku CVCC

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C2	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C3	100n	C1206	keramický kondenzátor
C4	100n	C1206	keramický kondenzátor
C5	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C6	100n	C1206	keramický kondenzátor
C7	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C8	100n	C1206	keramický kondenzátor
C9	100n	C1206	keramický kondenzátor
C10	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C11	100n	C1206	keramický kondenzátor
C12	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C13	68p	C1206	keramický kondenzátor
C14	100n	C1206	keramický kondenzátor
C15	100n	C1206	keramický kondenzátor
C16	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C17	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C18	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C19	100n	C1206	keramický kondenzátor
C20	100n	C1206	keramický kondenzátor
C21	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C22	1m	E5-13	elektrolytický kondenzátor
C23	1m	E5-13	elektrolytický kondenzátor
C24	68p	C1206	keramický kondenzátor
C25	68p	C1206	keramický kondenzátor
CM1	EL4083	DIL8	proudová čtyřkvadrantová násobička
D1	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
D2	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
D3	1N4007	D-5	univerzální dioda
D5	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
DT2	OPA860	SOIC8	diamantový tranzistor
IC1	OPA2652	SOIC8	operační zesilovač
IC2	7805	TO220	stabilizátor +5V
IC4	7905	TO220	stabilizátor -5V
IC5	EL2082	DIL8	proudový konvektor
JP1	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP2	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP3	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP4	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP5	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP6	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper

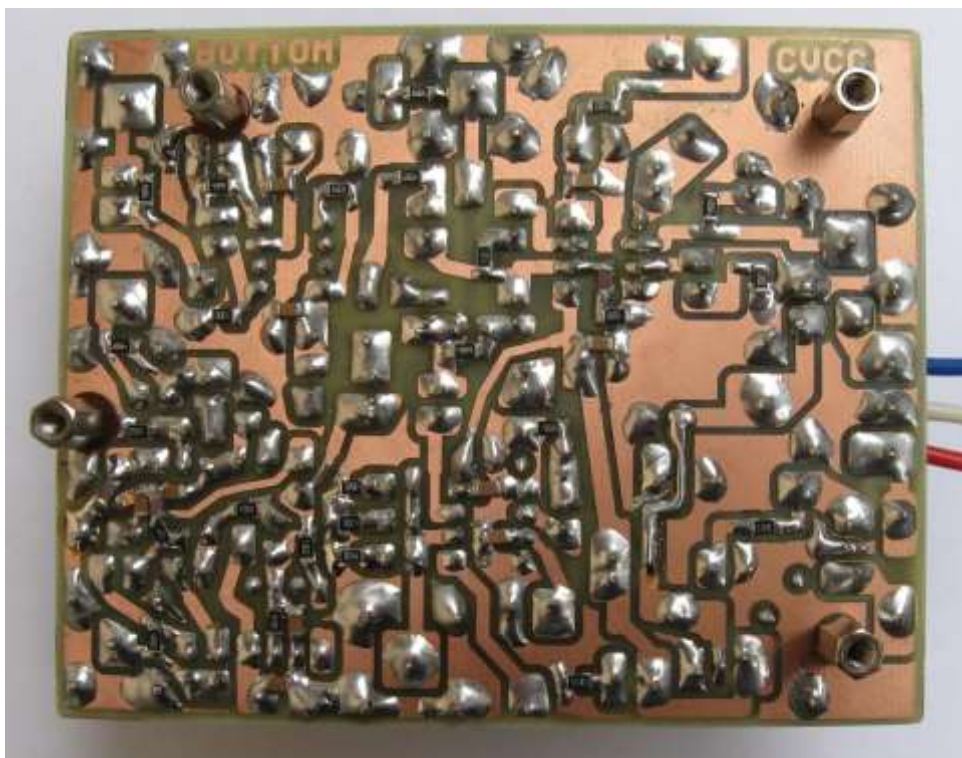
JP7	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP8	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP9	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP10	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP11	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP12	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP13	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP14	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP15	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP16	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP17	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP18	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP19	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP20	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP21	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP22	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP23	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP24	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP25	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP26	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP27	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP28	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP29	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP30	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP31	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP32	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP33	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
36892	zelená	průměr 5mm	zelená LED
37257	zelená	průměr 5mm	zelená LED
PWR	W237-103	con-wago-500	svorkovnice trojnásobná
R1	120	R1206	rezistor
R2	1k	R1206	rezistor
R3	50	R1206	rezistor
R4	15k	R1206	rezistor
R5	50	R1206	rezistor
R6	50	R1206	rezistor
R7	100	R1206	rezistor
R8	50	R1206	rezistor
R9	680	R1206	rezistor
R10	510	R1206	rezistor
R11	100	R1206	rezistor
R12	50	R1206	rezistor
R13	10k	LI10	odporový trimr
R14	510	R1206	rezistor
R15	50	R1206	rezistor

R16	50	R1206	rezistor
R17	50	R1206	rezistor
R18	120	R1206	rezistor
R19	390	R1206	rezistor
R20	910	R1206	rezistor
R21	10k	LI10	odporový trimr
R22	10k	R1206	rezistor
R23	5k	R1206	rezistor
R24	100	R1206	rezistor
R25	100	R1206	rezistor
R26	100	R1206	rezistor
R27	100	R1206	rezistor
R28	100	R1206	rezistor
U\$1	LMH6505	SOIC8	nastavitelný zesilovač
X1	A1944-50	A1944	BNC konektor
X2	A1944-50	A1944	BNC konektor
X3	A1944-50	A1944	BNC konektor
X4	A1944-50	A1944	BNC konektor
X5	A1944-50	A1944	BNC konektor
X6	A1944-50	A1944	BNC konektor
			precizní patice DIL8 4 ks
			redukce ze SOIC8 na DIL8 4ks

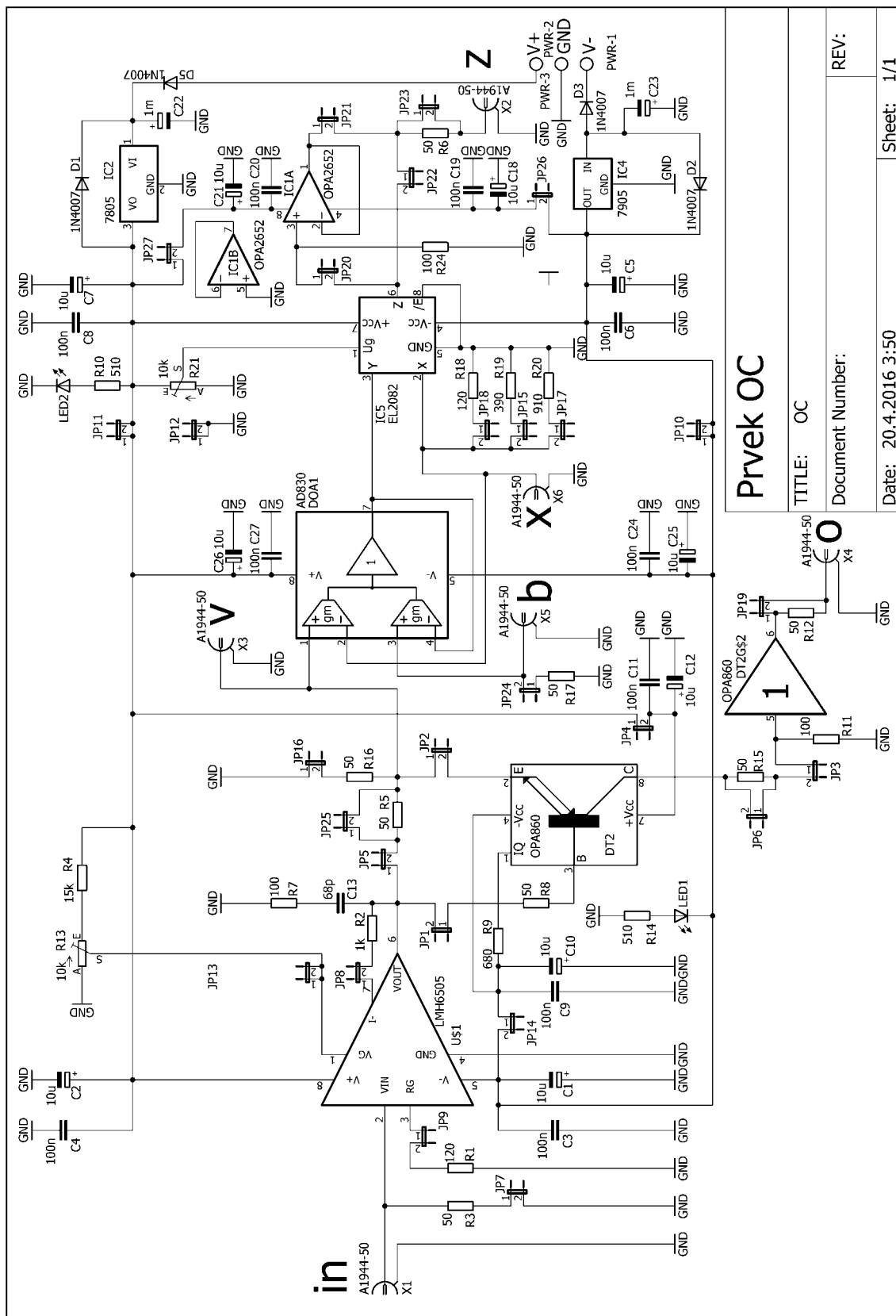
A.24 Osazená DPS prvku CVCC – top (strana součástek)



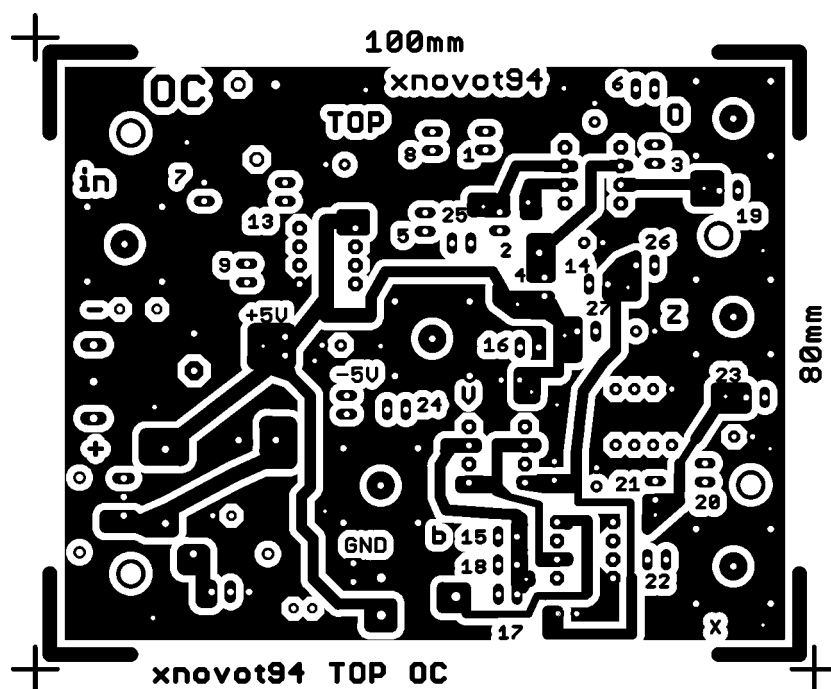
A.25 Osazená DPS prvku CVCC – bottom (strana spojů)



A.26 Obvodové zapojení prvku OC

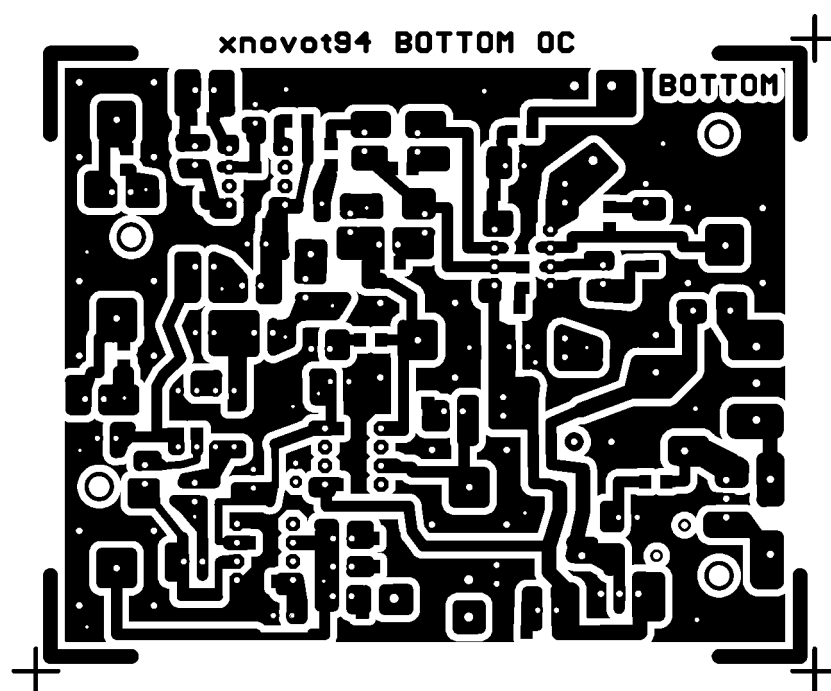


A.27 Deska plošného spoje prvku OC – top (strana součástek)



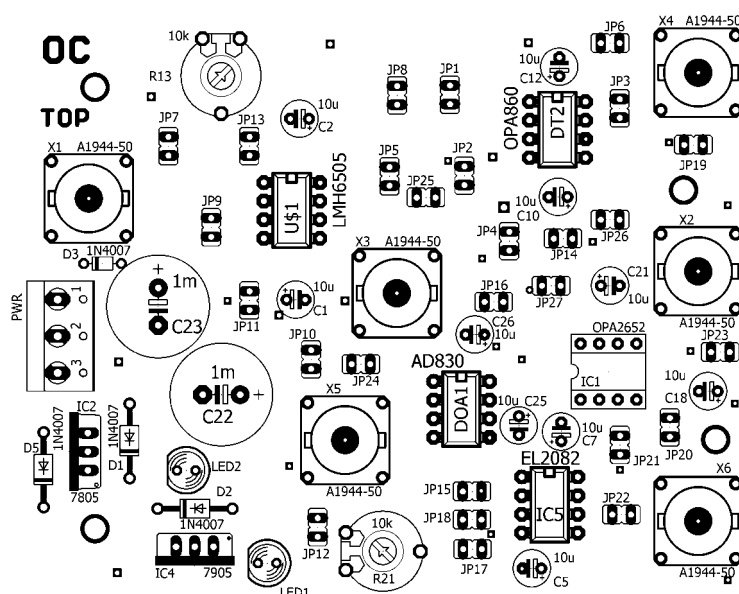
Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.28 Deska plošného spoje prvku OC – bottom (strana spojů)



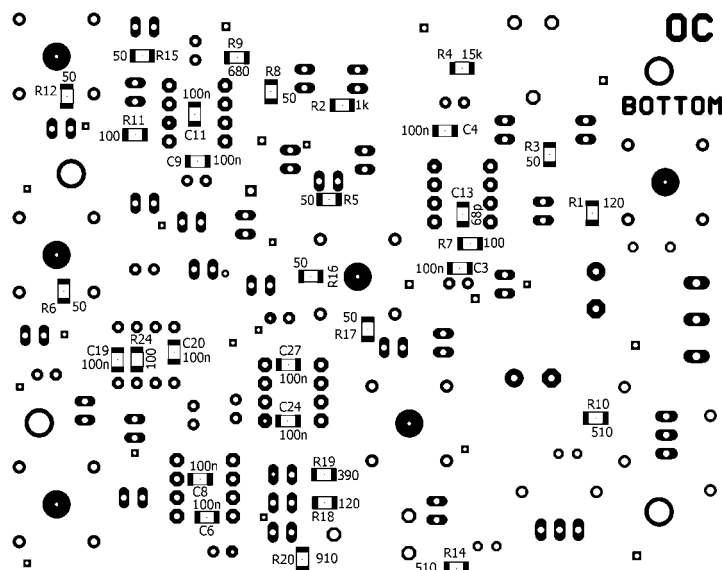
Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.29 Osazovací plánec prvku OC – top (strana součástek)



Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.30 Osazovací plánec prvku OC– bottom (strana spojů)



Rozměr desky 100 × 80 [mm]

A.31 Seznam součástek prvku OC

Označení	Hodnota	Pouzdro	Popis
C1	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C2	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C3	100n	C1206	keramický kondenzátor
C4	100n	C1206	keramický kondenzátor
C5	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C6	100n	C1206	keramický kondenzátor
C7	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C8	100n	C1206	keramický kondenzátor
C9	100n	C1206	keramický kondenzátor
C10	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C11	100n	C1206	keramický kondenzátor
C12	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C13	68p	C1206	keramický kondenzátor
C14	100n	C1206	keramický kondenzátor
C15	100n	C1206	keramický kondenzátor
C16	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C17	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C18	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C19	100n	C1206	keramický kondenzátor
C20	100n	C1206	keramický kondenzátor
C21	10u	E2	elektrolytický kondenzátor
C22	1m	E5-13	elektrolytický kondenzátor
C23	1m	E5-13	elektrolytický kondenzátor
C24	68p	C1206	keramický kondenzátor
C25	68p	C1206	keramický kondenzátor
CM1	EL4083	DIL8	proudová čtyřkvadrantová násobička
D1	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
D2	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
D3	1N4007	D-5	univerzální dioda
D5	1N4007	DO41-10	univerzální dioda
DT2	OPA860	SOIC8	diamantový tranzistor
IC1	OPA2652	SOIC8	operační zesilovač
IC2	7805	TO220	stabilizátor +5V
IC4	7905	TO220	stabilizátor -5V
IC5	EL2082	DIL8	proudový konvektor
JP1	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP2	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP3	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP4	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP5	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP6	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper

JP7	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP8	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP9	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP10	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP11	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP12	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP13	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP14	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP15	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP16	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP17	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP18	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP19	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP20	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP21	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP22	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP23	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP24	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP25	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP26	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP27	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP28	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP29	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP30	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP31	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP32	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
JP33	JP1E	rozteč 2,54 mm	jumper
36892	zelená	průměr 5mm	zelená LED
37257	zelená	průměr 5mm	zelená LED
PWR	W237-103	con-wago-500	svorkovnice trojnásobná
R1	120	R1206	rezistor
R2	1k	R1206	rezistor
R3	50	R1206	rezistor
R4	15k	R1206	rezistor
R5	50	R1206	rezistor
R6	50	R1206	rezistor
R7	100	R1206	rezistor
R8	50	R1206	rezistor
R9	680	R1206	rezistor
R10	510	R1206	rezistor
R11	100	R1206	rezistor
R12	50	R1206	rezistor
R13	10k	LI10	odporový trimr
R14	510	R1206	rezistor
R15	50	R1206	rezistor

R16	50	R1206	rezistor
R17	50	R1206	rezistor
R18	120	R1206	rezistor
R19	390	R1206	rezistor
R20	910	R1206	rezistor
R21	10k	LI10	odporový trimr
R22	10k	R1206	rezistor
R23	5k	R1206	rezistor
R24	100	R1206	rezistor
R25	100	R1206	rezistor
R26	100	R1206	rezistor
R27	100	R1206	rezistor
R28	100	R1206	rezistor
U\$1	LMH6505	SOIC8	nastavitelný zesilovač
X1	A1944-50	A1944	BNC konektor
X2	A1944-50	A1944	BNC konektor
X3	A1944-50	A1944	BNC konektor
X4	A1944-50	A1944	BNC konektor
X5	A1944-50	A1944	BNC konektor
X6	A1944-50	A1944	BNC konektor
			precizní patice DIL8 4 ks
			redukce ze SOIC8 na DIL8 4ks

A.32 Osazená DPS prvku OC – top (strana součástek)



A.33 Osazená DPS prvku OC – bottom (strana spojů)

